

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE

VICTOR LAMARÃO DE FRANÇA

**MODELAGEM ESPACIAL DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DESTINADAS AO CONSUMO HUMANO
MUNICÍPIO DE BACABEIRA-MA**

São Luís – MA

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE

**MODELAGEM ESPACIAL DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DESTINADAS AO CONSUMO HUMANO NO
MUNICÍPIO DE BACABEIRA-MA**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Qualidade Ambiental e Saúde

LINHA DE PESQUISA: Gestão Socioambiental

ORIENTADOR: **Prof.Dr. ANTONIO CARLOS LEAL DE CASTRO**

Aluno/Orientando: **VICTOR LAMARÃO DE FRANÇA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão-UFMA, como requisito à obtenção do Título de Mestre em Saúde e Ambiente.

São Luís – MA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

FRANÇA, VICTOR LAMARÃO DE.

MODELAGEM ESPACIAL DA VULNERABILIDADE À
CONTAMINAÇÃODAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DESTINADAS
AO CONSUMO HUMANO NOMUNICÍPIO DE BACABEIRA-MA /
VICTOR LAMARÃO DE FRANÇA. 2017.117 f.

Orientador: ANTONIO CARLOS LEAL DE CASTRO.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Saúde e Ambiente/CCBS, Universidade Federal do Maranhão,
São Luís, 2017.

1. Aquíferos. 2. Geotecnologias. 3. Método adaptado. 4.
Qualidade de água. 5. Saúde das populações. I. LEAL DE
CASTRO, ANTONIO CARLOS. II. Título.

VICTOR LAMARÃO DE FRANÇA

**MODELAGEM ESPACIAL DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DESTINADAS AO CONSUMO HUMANO NO
MUNICÍPIO DE BACABEIRA-MA**

Aprovado em 22/02/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof.Dr. Antonio Carlos Leal de Castro (Orientador)

Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente

Prof. Dr. José Aquino Junior

Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente

Prof^a. Dra. Edilea Dutra Pereira

Universidade Federal do Maranhão
Departamento de Geociências

Prof. Dr. Leonardo Silva Soares

Instituto Federal do Maranhão -Campus Maracaná

“A Deus, pela bênção da oportunidade de vivenciar uma superação!, e sob sua bênção juntamente com a dos meus pais, dedico à minha amada e admirada esposa Verônica, ao filho Victor e ao amigo Waldeli Santos.!”

AGRADECIMENTOS

Ao “mestre”, professor Antonio Carlos Leal de Castro, pelo acolhimento, oportunidade, orientação, confiança, apoio, companhia e amizade, obrigado por tudo!

Ao Programa PPG Saúde e Ambiente, através de seus secretários, professores e coordenadora Profa. Dra. Denise Coutinho.

À Universidade Federal do Maranhão – UFMA através do Departamento de Oceanografia e Limnologia - DEOLI, além de seus técnicos, pelo apoio institucional para realização deste trabalho.

À Superintendência Regional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, à Secretaria de Estado da Saúde do Governo do Maranhão e à Prefeitura Municipal de Bacabeira pelas trocas de informações que também subsidiaram a realização deste trabalho.

Aos professores, Dr. Leonardo Soares e Dr. José Aquino Jr. pelas valiosas contribuições por ocasião de suas participações nos seminários e exame de qualificação. À professora Dra. Edilea Dutra Pereira pela troca de conhecimento e experiência em trabalhos de campo, e aos demais professores na defesa desta dissertação.

Aos colegas do mestrado, pela convivência, troca de experiências e amizades.!

Aos grandes e inseparáveis amigos da UFMA: Antonio Carlos, Marcelo Henrique, Gisele Araújo, Leonardo Soares, Paula Verônica, James Werllen, Helen Roberta, Cássia Fernanda e Rayssa Lima, com os quais é gratificante conviver, aprender e compartilhar experiências acadêmicas e de vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo concedida.

E a todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização desta dissertação.

RESUMO

Os recursos hídricos subterrâneos têm sido submetidos a vários tipos de degradação, contaminação e poluição, contribuindo para a insalubridade ambiental e conseqüentemente, para a proliferação de doenças infecciosas e parasitárias, de veiculação hídrica. Por tal, a preservação da qualidade da água é uma necessidade de responsabilidade universal e um desafio, que tem sido enfrentado com estratégias de monitoramento e a otimização de mapeamentos de vulnerabilidades. Neste quadro o objetivo do presente trabalho foi analisar a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Bacabeira, com vistas ao consumo humano e conseqüentemente à saúde da população, através do modelo espacial em um Sistema de Informação Geográfica e análises físico-químicas (pH, cloreto, nitrato) e bacteriológicas (coliformes totais e termotolerantes). Este município e seu manancial subterrâneo, já apresenta uma alta susceptibilidade por está exposto a fatores de ameaça como: inserido em zona costeira, exercer atividades de mineração, e recentemente ter criado um distrito industrial na área destinada para implantação de uma refinaria de petróleo e gás. Após revisão dos principais métodos existentes e dados espaciais disponíveis, propõe-se como modelo, o Mapa de Vulnerabilidade utilizando como o Método GODD, adaptado a partir da inserção do parâmetro Declividade (D), aos de Confinamento (G), Ocorrência (O) e Distância (D). Os dados foram extraídos do Sistema de Informação de água Subterrânea-SIAGAS/CPRM e EMBRAPA, processamento digital de imagem de Radar SRTM e trabalho de campo, o qual foi realizado em abril/2016, pico da estação chuvosa. O modelo (mapa) definiu áreas de extrema, alta, média e baixa vulnerabilidade e possibilitou que os 10 poços que abastecem comunidades em Bacabeira, quando sobrepostos aos dados populacionais dos setores censitários (IBGE), demonstraram que 30% dos poços que abastecem diretamente 350 habitantes encontram-se sob aquíferos de alta vulnerabilidade, enquanto 70% que respondem pelo abastecimento de 450 habitantes, revelaram média vulnerabilidade à contaminação. No que se refere às variáveis físico-químicas somente o pH mostrou valores dentro da variação permitida, enquanto cloreto, nitrato, coliformes totais e coliformes termotolerantes revelaram concentrações acima dos valores máximos permitidos, conforme legislações vigentes. Desse modo, a modelagem espacial da vulnerabilidade à contaminação aplicada aos mananciais subterrâneos do município de Bacabeira, mostrou-se uma ferramenta capaz de subsidiar decisões, além de demonstrar que, no cenário da qualidade das águas subterrâneas, a utilização deste manancial para consumo humano se apresenta como um fator de risco potencial para a saúde da população exposta a doenças de veiculação hídrica.

Palavras-Chave: aquíferos, geotecnologias, método adaptado, qualidade de água e saúde das populações.

ABSTRACT

Groundwater resources have been subjected to various types of degradation, contamination and pollution, contributing to the environmental insalubrity and, consequently, to the proliferation of infectious and parasitic diseases, of water transmission. As such, water quality preservation is a need for universal responsibility and a challenge, which has been faced with monitoring strategies and the optimization of vulnerability mappings. However, the objective was to analyze the vulnerability to contamination of the groundwater of the municipality of Bacabeira, with a view to human consumption and consequently to the health of the population, through the spatial model in a Geographic Information System and physical-chemical analyzes (pH, chloride, nitrate) and bacteriological (total and thermotolerant coliforms). This municipality and its underground spring, already presents / displays a high susceptibility because it is exposed to factors of threat as inserted in coastal zone, to carry out mining activities, and recently to have created an industrial district in the area destined for the implantation of an oil and gas refinery. After reviewing the main existing methods and available spatial data, it is proposed as a model the Vulnerability Map using the GODD Method, adapted from the insertion of the Declivity parameter (*D*), the Confinement (*G*), Occurrence (*O*) And Distance (*D*). The data were extracted from the Underground Water Information System - SIAGAS / CPRM and EMBRAPA, SRTM Radar Digital Image Processing and fieldwork, which was carried out in April / 2016, the peak of the rainy season. The model (map) defined areas of extreme, high, medium and low vulnerability and allowed that the 10 wells that supply the communities in Bacabeira. When superimposed on the population data of the census tracts (IBGE), showed that 30% of the wells that directly supply 350 inhabitants are under high vulnerability aquifers, while 70% that respond for the supply of 450 inhabitants, revealed medium vulnerability to contamination. Regarding the physicochemical variables, only pH showed values within the permitted range, while chloride, nitrate, total coliforms and thermotolerant coliforms showed concentrations above the maximum permitted values, according to current legislation. In this way, the spatial modeling of vulnerability to contamination applied to underground water sources in the municipality of Bacabeira proved to be a tool capable of subsidizing decisions, as well as demonstrating that, in the groundwater quality scenario, the use of this source for human consumption presents as a potential risk factor for the health of the population exposed to waterborne diseases.

Keywords: Aquifers, geotechnologies, adapted method, water quality and population health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Ciclo hidrológico.....	24
Figura 2-2. Tipologia de diferentes aquíferos.	26
Figura 2-3. Processos de poluição da água subterrânea.	28
Figura 2-4. Níveis de abstração do Geoprocessamento.....	41
Figura 2-5.O mapa visto como diferentes tipos de modelo do mundo real.	41
Figura 2-6. Mapa de localização da área de estudo, município de Bacabeira-MA.....	42
Figura 2-7. Mapa das Unidades e Estruturas Geológicas do Município de Bacabeira-MA.....	45
Figura 2-8. Mapa das unidades pedológicas inseridas na área de estudo.	47
Figura 2-9. Mapas das características climática da região da área estudo. Em A – segue mapa das unidades climáticas. Em B – Mapa de Pluviosidade. Em C – mapa da umidade média anual. E em D – mapa da temperatura média anual.....	48
Figura 2-10. Representação gráfica dos valores médios de precipitação mensal (mm) no período de 1971 a 2015.	49
Figura 2-11. Mapas das características hídricas da região da área estudo. A – Mapa das regiões hidrográficas segundo BRASIL/CNRH, 2003. B – Mapa de Bacias Hidrográficas Maranhenses.....	51
Figura 2-12. Mapa de unidades hidrogeológicas da região da área de estudo - Bacabeira-MA.	53
Figura 2-13. Quantitativo de poços registrados segundo seus usos.....	54
Figura 2-14. Imagem de mapa de poços cadastrados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas-SIAGAS, em	

destaque informações existentes dos respectivos poços inseridos na área de estudo (Bacabeira-MA).....	55
Figura 2-15. Mapa da vulnerabilidade à poluição dos lençóis aquíferos do estado do Maranhão.	57
Figura 2-16. Distribuição de casos registrados de DDA's por faixa etária no período de 2012 a 2015 no município de Bacabeira-MA.....	60
Figura 2-17. Imagem de quadros e gráficos retratando o cenário do saneamento municipal de até o ano de 2000 em Bacabeira-MA.....	61
Figura 2-18. Croqui do sistema de abastecimento com captação em mananciais subterrâneos no município de Bacaberia-MA. Destaque, em seta vermelha, de etapa (Tratamento) em que deveria ocorrer antes da oferta à população.....	63
Figura 2-19. Proposta de croqui para o futuro sistema de abastecimento de água no município de Bacaberia-MA.	63
Figura 3-1. Mapa de localização da área de estudo, município de Bacabeira-MA.....	67
Figura 3-2. Sistema GOD com adaptação (inserção do parâmetro Declividade) para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.	71
Figura 3-3. Fluxograma das etapas do modelo espacial de análise de vulnerabilidade de água subterrânea à contaminação.....	73
Figura 3-4. Mapa de Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Bacabeira-MA.	75
Figura 4-1. Mapa de localização da área de estudo, município de Bacabeira-MA.....	81
Figura 4-2. Método GOD com adaptação (inserção do parâmetro Declividade) para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.	85

Figura 4-3. Mapas dos índices referente à parâmetros de análise da vulnerabilidade através do Sistema GOD(<i>D</i>) adaptado.	91
Figura 4-4. A) Mapa da vulnerabilidade das águas subterrâneas do município de Bacabeira; B) Mapa da densidade demográfica do município de Bacabeira.	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1. Alguns números que refletem a importância da água.....	23
Quadro 2-2. Fontes de contaminação das águas subterrâneas	28
Quadro 2-3. Parâmetros para avaliação de qualidade de água para consumo.....	31
Quadro 2-4. Alguns dos diplomas legais que formam o arcabouço jurídico das águas subterrâneas no Brasil.	32
Quadro 2-5. Exemplos selecionados de métodos de mapeamento de vulnerabilidade. Caixas com cores cinzentas indicam parâmetros incluídos em um determinado método; caixas em branco indicam parâmetros não incluídos; caixas em cores cinza escuro indicam possível inclusão de parâmetros, o que dependerá do estudo real.	36
Quadro 2-6. Exemplos de métodos de mapeamento de vulnerabilidade. Caixas com cores cinzentas indicam parâmetros utilizados.	39
Quadro 2-7. Estabelecimentos que subsidiam ações de saúde no município de Bacabeira.	58
Quadro 2-8. Comunidade/vilas que são abastecidas através de água de poços.....	62
Quadro 3-1. Banco de dados consultados e trabalhados em ambiente SIG.	69
Quadro 3-2. Localização e Índice GODD dos poços destinados ao consumo humano em Bacabeira-MA.....	74
Quadro 4-1. Parâmetros físico-químicos seus respectivos métodos de análise e seus limites máximos conforme legislação brasileira.....	83
Quadro 4-2. Operações realizadas em SIG e suas respectivas ferramentas aplicadas.	84

Quadro 4-3. Definições correspondentes às classes de vulnerabilidade.	87
Quadro 4-4. Descrição de localidade, situação/domínio, unidades hidrogeológicas, valores dos parâmetros analisados e Índices de Vulnerabilidade de poços destinados ao abastecimento humano no município de Bacabeira.	89
Quadro 4-5. Parâmetros biológicos e físico-químicos das águas de poços analisados.....	93

LISTA DE ANEXOS

7.1.	Página ilustrativa do Periódico: Ciência e Saúde Coletiva.....	105
7.2.	Página ilustrativa do Periódico: Ambiente e Sociedade.....	106
7.3.	Página ilustrativa do Periódico: Ambiente Água.....	107
7.4.	Página ilustrativa do Periódico: Cadernos Saúde Coletiva.....	108
7.5.	Página ilustrativa do Periódico: Água Subterrânea.....	109

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas
APHA - *American Public Health Association*
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM – Serviço Geológico do Brasil
DEOLI – Departamento de Oceanografia e Limnologia
DIBAC – Distrito Industrial de Bacabeira
DIROS – Distrito Industrial de Rosário
DISAL – Distrito Industrial de São Luís
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI - *Environmental Systems Research Institute*
FSADU – Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal do Maranhão
GOD – Grau de confinamento; Ocorrência; Distância
GPS – *Global Position System*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH - Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDW – *Inverse Distance Weight*
INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT - *Land Remote Sensing Satellite*
MDE - Modelo Digital de Elevação
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MME - Ministério de Minas e Energia
MS – Ministério da Saúde
MSt - Métodos de Sistemas de Matriz
OD - Oxigênio Dissolvido
ONU - Organização das Nações Unidas
OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde
PCSM - Métodos de Modelos de Contagem de Sistema de Pontos
PDI – Processamento Digital de Imagem
pH – Potencial de Hidrogênio

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
RS - Métodos de Sistemas de Avaliação
SAAE - Sistema Autônomo de Abastecimento de Águas e Esgotos
SDT - Sólidos Dissolvidos Totais
SEINC - Secretaria de Indústria e Comércio do Estado do Maranhão
SIAGAS – Sistema de Informações de Água Subterrânea
SIG - Sistema de Informações Geográficas
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*
SST - Sólidos Suspensos Totais
TIN - *Triangulated Irregular Network*
UFMA - Universidade Federal do Maranhão
UNICEF - *United Nations Children's Fund*
UTM – *Universal Transversa de Mercator*
USGS – *United States Geologic Survey*
VMP – Valores Máximos Permitidos
VECAS – Vulnerabilidade Espacial à Contaminação da Água Subterrânea
WGS - *World Geodetic System*
WHO – *World Health Organization*
ZEE – Zoneamento EcológicoEconômico
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUA IMPORTÂNCIA PARA A SAÚDE	21
2.1.1 Origem e Definição	23
2.1.2 Aquíferos	25
2.1.3 Impactos, qualidade e proteção da água subterrânea	27
2.1.4 Métodos de avaliação de vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação	35
2.1.5 Modelagem de dados espaciais e cartográfica.	40
2.2 BACABEIRA E SEU RECURSO HÍDRICO SUBTERRÂNEO	42
2.2.1 Aspectos Gerais	42
2.2.2 Aspectos Ambientais (Geologia, Solos, Clima e Hidrologia)	43
2.2.3 Água Superficial	50
2.2.4 Água Subterrânea	51
2.2.5 Saúde e Saneamento Básico	57
3. ARTIGO 1. PROPOSIÇÃO DE MODELO ESPACIAL DE VULNERABILIDADE A CONTAMINAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DESTINADO AO CONSUMO: ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE BACABEIRA-MA, BRASIL.....	65
4. ARTIGO 2. VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E QUALIDADE DAS ÁGUAS DE POÇOS DESTINADAS AO CONSUMO HUMANO NO MUNICÍPIO DE BACABEIRA-MA.....	78
5. CONCLUSÃO.....	100
6. REFERÊNCIAS.....	103
7. ANEXOS	112

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial de Saúde - OMS (2001), enfatiza que a qualidade, quantidade, continuidade, cobertura e custo da água influenciam diretamente na saúde, qualidade de vida e no desenvolvimento do ser humano.

Gleick (2002) relata que, mesmo com a produção de conhecimento e estratégias a respeito do assunto, ainda em 2020 atingiremos uma estimativa de 40.000.000 (quarenta milhões) de mortes com doenças relacionadas à água, tendo como causa principal a ausência de sua potabilidade.

A potabilidade da água é de fundamental necessidade para atividades relacionadas diretamente ao consumo do ser humano. Entretanto, os mananciais superficiais e subterrâneos têm sido submetidos a vários tipos de degradação, contaminação e poluição, contribuindo para a insalubridade ambiental e conseqüentemente, para a proliferação de doenças infecciosas e parasitárias de veiculação hídrica.

A responsabilidade de preservar a qualidade da água é universal, exigindo atenção por parte das autoridades de gestão e consumidores em geral, principalmente porque está relacionada com a saúde humana. Este desafio tem sido enfrentado, na maior parte das vezes, com o monitoramento e a otimização de mapeamentos de vulnerabilidades, que consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as características naturais de uma determinada área/bacia.

Monken e Barcellos (2005) ressaltam que as técnicas de geoprocessamento têm auxiliado na organização e análise espacial de dados sobre ambiente, sociedade e saúde, permitindo a elaboração de diagnósticos de situação e o intercâmbio de informações entre setores.

O abastecimento público por manancial subterrâneo para a região Nordeste do Brasil suporta 40% das 1.650 localidades, sendo que nos Estados do Piauí e Maranhão esse percentual ultrapassa os 70% (PEDROSA; CAETANO, 2002). No Maranhão, 74% das sedes municipais são abastecidas exclusivamente por mananciais subterrâneos (ANA, 2009), o que reforça a atenção para os cuidados e estudos a serem direcionados a este recurso.

Registros disponíveis pela ANA (2010), sinalizam que desde o ano de 2005 cerca de 87% de todos os municípios do Maranhão possuem necessidades de ampliação dos seus sistemas de abastecimento para atender não somente a atual população, mas também, uma população que crescerá segundo IBGE (2015), a uma taxa de 0,22% ao ano até 2030.

A população do município de Bacabeira-MA é atualmente abastecida por sistema integrado com captação em manancial misto (superficial/subterrâneo), onde o sistema isolado (poços) representa 50% da participação no abastecimento do município (ANA, 2009), e já apresenta necessidades de melhorias e ampliação de seus sistemas.

Além de possuir atividades de mineração, ausência de cobertura básica de saneamento, falta de ordenamento territorial, fatores que potencializam a possibilidade de contaminação dos mananciais subterrâneos, o município foi submetido a mais um agravante ambiental decorrente da interrupção e descontinuidade da implantação de uma Refinaria de Petróleo e Gás em 2012, o solo exposto sob uma área de 25 km². Atualmente, sobre esta poligonal, foi criado o Distrito Industrial de Bacabeira-DIBAC sob justificativa de redirecionamento funcional da área impactada e zona associada à ampliação do modal de transporte rodoviário, ferroviário e portuário que se conecta aos Distritos Industriais de Rosário-DIROS e da capital São Luís-DISAL.

Por conseguinte, a criação do DIBAC atrairá a chegada de novos empreendimentos na região, a exemplo da refinaria chinesa anunciada pelo Governo do Estado (SEINC, 2016). Neste cenário, e em virtude das atividades já desenvolvidas e de possíveis empreendimentos a serem implantados no município, associado ao crescimento demográfico, poderá haver aumento na demanda por serviços e recursos, como água potável. Além disso, as modificações que poderão acontecer no setor econômico, social e ambiental possibilitarão o surgimento de áreas de vulnerabilidade e de conflitos socioambientais afetando por sua vez, a qualidade dos recursos hídricos, e consequentemente submetendo a população a doenças infecciosas e de veiculação hídrica.

Neste contexto, esta pesquisa seguindo um raciocínio indutivo-dedutivo e caracterizada em termos epidemiológicos como um estudo observacional analítico do tipo ecológico*, delineou-se como objetivo analisar a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas com vistas ao consumo humano e conseqüentemente à saúde da população através de modelo espacial em um sistema de informação geográfica.

Como objetivos específicos tem-se:

- Estruturar um modelo espacial de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas em um Sistema de Informação Geográfico;
- Analisar a vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea utilizada para o consumo humano;

Por tal, procurou-se responder nesta pesquisa as seguintes questões: Quais as áreas sob vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea utilizada para consumo humano no município de Bacabeira? Há diferenças de níveis/intensidades da vulnerabilidade à contaminação deste recurso hídrico que são ofertadas ao abastecimento humano? Existe possibilidade deste recurso hídrico apresentar risco a saúde da população consumidora?

Com vistas a responder a esses questionamentos formulou-se como hipótese que, o recurso hídrico subterrâneo no município de Bacabeira apresenta, em decorrência das condições ambientais reinantes e das características e distribuição espacial dos poços, níveis diferenciados de vulnerabilidade à contaminação e conseqüentemente risco em potencial à saúde da população consumidora.

A utilização desta análise assumindo uma estrutura de modelo se apresenta como uma ferramenta de gestão que almeja sustentar o processo de tomada de decisão, por meio da avaliação da informação, auxiliando a análise

*Nos estudos ecológicos, compara-se a ocorrência da doença/condição relacionada à saúde e a exposição de interesse entre agregados de indivíduos (populações de países, regiões ou municípios, por exemplo) para verificar a possível existência de associação entre elas. Nesse tipo de estudo, não existem informações sobre a doença e exposição do indivíduo, mas do grupo populacional como um todo. Uma das suas vantagens é a possibilidade de examinar associações entre exposição e doença/condição relacionada a coletividade. Por outro lado, embora uma associação ecológica possa refletir, corretamente, uma associação causal entre a exposição e a doença/condição relacionada à saúde, a possibilidade do viés ecológico é sempre lembrada como uma limitação para o uso de correlações ecológicas. (MORGENSTERN, 1998; SZKLO; JAVIER NIETO, 2000).

de tendências de agravamento de conflitos e reduzindo as probabilidades de se adotar decisões equivocadas, principalmente na formulação de políticas públicas na área de saúde e ambiente, e com potencial de reprodução em outras áreas de interesse.

Com relação a estruturação, este trabalho segue composto por três partes. A primeira parte refere-se à Introdução, em que é contextualizada a problemática, as perguntas de pesquisa, hipótese e os objetivos da pesquisa.

A segunda parte refere-se ao Referencial Teórico abordando em síntese e em íntima temática estudada “**Água subterrânea e sua importância para a saúde**”, e a área de estudo “**Bacabeira e seu recurso hídrico subterrâneo**”.

A terceira parte envolve os resultados alcançados em forma de artigos a serem submetidos em periódicos com extrato igual ou superior a B2 do Qualis Capes da área Interdisciplinar. O primeiro artigo é intitulado “**Proposição de modelo espacial de vulnerabilidade a contaminação de água subterrânea destinado ao consumo: estudo de caso para o município de Bacabeira-MA.**”, onde buscou-se através de uma revisão dos principais métodos de análise da vulnerabilidade e parâmetros de fácil acesso, propor adaptação de um modelo de análise prático e robusto. O segundo artigo “**Vulnerabilidade das águas subterrâneas e qualidade das águas de poços destinadas ao consumo humano no município de Bacabeira-MA**” foram identificadas zonas de aquíferos com níveis de vulnerabilidade à contaminação, conforme características naturais do ambiente e dos poços utilizados para o abastecimento/consumo humano, e sua relação com a saúde da população susceptível. Também nesta parte seguem as principais **Conclusões**, as **Referências** consultadas e **Anexas**.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUA IMPORTÂNCIA PARA A SAÚDE

A água tem sua importância não só como condição *sine qua non* de todas as formas de vida existentes na Terra (recurso morfo-estrutural), mas também como fator de influência de relações socioeconômicas.

As águas cobrem três quartos da superfície da Terra, onde 22% corresponde a água subterrânea, que em termos de disponibilidade apresenta o maior estoque (BAIRD, 2002). Shikwmanov (1998), destaca que as águas subterrâneas ($10.360.230 \text{ km}^3$) são aproximadamente 100 vezes mais abundantes que as águas superficiais dos rios e lagos (92.168 km^3) e constituem-se em importantes reservas de água doce.

Segundo Rebouças et al. (2002), as águas subterrâneas distribuem-se da seguinte forma: 65.000 km^3 constituindo a umidade do solo; 4,2 milhões de km^3 localizada desde a zona não-saturada até 750 m de profundidade, e 5,3 milhões de km^3 de 750 m até 4.000 m de profundidade, constituindo o manancial subterrâneo.

Em muitas partes do mundo, fontes de águas subterrâneas representam a oferta mais importante para a oferta de água potável, particularmente em áreas que contêm águas superficiais limitadas ou poluídas. Para muitas comunidades pode ser a única opção economicamente viável. Isto é em parte porque a água subterrânea é tipicamente de qualidade mais estável e melhor qualidade microbiana do que as águas de superfície. As águas subterrâneas requerem pouco ou nenhum tratamento para ser adequada ao abastecimento humano, enquanto que as águas superficiais geralmente precisam ser tratadas, muitas vezes extensivamente (HOWARD et al., 2006).

A importância desse recurso é de fato lembrada e ressaltada em diversas publicações em todo o mundo e sua relação com a saúde das populações é direta e determinante. Doenças relacionadas à veiculação hídrica continua a ser um dos principais problemas de saúde no mundo (HOWARD et al., apud WHO, 2006).

Em 2002, estimou-se que cerca de um sexto da humanidade (1,1 bilhão de pessoas) não tinham acesso a qualquer forma de melhoria do abastecimento de água a 1 Km de sua casa, e cerca de 40 % da humanidade (2,6 milhões de pessoas) não tinham acesso a alguma forma de esgotamento sanitário (WHO; UNICEF, 2004).

As doenças diarreicas, que são em grande parte derivadas da ausência de água potável e saneamento, foram responsáveis por 1,8 milhões de mortes

em 2002 e contribuíram com cerca de 62 milhões de registros de incapacitações por ano (WHO, 2004). Prüss-Üstün et al. (2004) relatam que em uma escala global, a doença diarreica é a sexta maior causa de mortalidade no mundo e ocupa o terceiro lugar na lista de morbidade, onde estimam que 3,7% da carga global de doenças é derivada de água em condições inadequadas de saneamento e higiene.

Tundisi (2003) ressalta alguns registros relacionados à importância da água para a saúde (Quadro 2-1).

Quadro 2-1. Alguns números que refletem a importância da água.

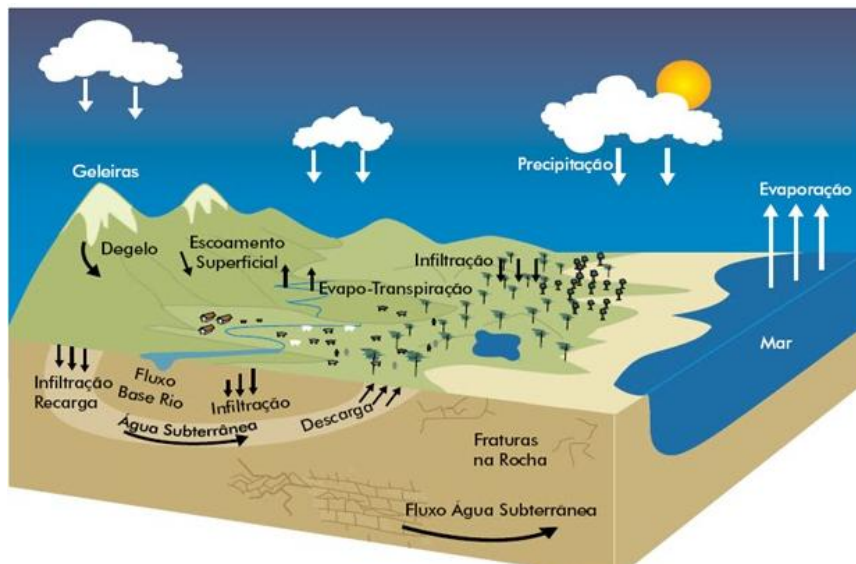
A água em números	
• Aproximadamente 34.000 pessoas morrem diariamente em consequência de doenças relacionadas com a água. • 65 % das internações hospitalares no Brasil se devem a doenças de veiculação hídrica. • Uma pessoa necessita de no mínimo cinco litros de água por dia para beber e cozinhar e 25 litros para higiene pessoal. • Uma família média consome cerca de 350 litros de água por dia no Canadá, 20 litros na África, 165 litros na Europa e 200 litros no Brasil. • As perdas de água na rede de distribuição no Brasil variam de 30 % a 65 % do total aduzido.	• Aproximadamente, 1,4 bilhões de litros de água são necessários para produzir um dia de papel para a imprensa mundial. • Um tomate contém 95 % de água. • 9.400 litros de água são necessários para produzir 4 pneus de carro. • Abastecimento e saneamento adequados reduzem a mortalidade infantil em 50 %. • Uma pessoa sobrevive apenas uma semana sem água. • Mulheres e crianças em muitos países em desenvolvimento viajam em média 10 a 15 km todos os dias para obter água.

Fonte: Tundisi (2003)

2.1.1 Origem e Definição

O ciclo hidrológico, ou ciclo da água, é o movimento contínuo da água presente nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera. Nos continentes, a água precipitada pode seguir os diferentes caminhos: infiltração e percolação até as formações rochosas mais profundas, escoamento superficial, escoamento subterrâneo, evapotranspiração e degelo de geleiras (Figura 2-1). A água subterrânea faz parte do ciclo hidrológico, portanto, encontra-se intimamente relacionada com processos atmosféricos, climáticos e com o regime de águas superficiais.

Figura 2-1. Ciclo hidrológico.



Fonte: MMA(www.mma.gov.br)

Feitosa e Manoel Filho (2011), relatam que quase toda a água subterrânea tem origem no ciclo hidrológico, que é um sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e para os continentes, de onde retorna superficial ou subterraneamente ao oceano. Possui movimentos lentos, comparando com a água superficial. A distribuição das águas superficiais e subterrâneas é muito variável, uma vez que elas se inter-relacionam no ciclo hidrológico e dependem das condições climatológicas.

A denominação de água subterrânea passou a compreender toda a água que ocorre abaixo da superfície de uma determinada área, e que para Tundisi (2003), é a parcela que se encontra no subsolo da superfície terrestre, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras, e está disponível em todas as regiões da Terra constituindo importante recurso natural.

A Resolução CONAMA nº 396/08 (BRASIL, 2008) traz como conceito de águas subterrâneas:

“Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - águas subterrâneas: águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no Subsolo;”

Algumas denominações para água subterrânea também são descritas por Rebouças (1996), tais como, água do solo, água da zona não saturada, água da zona saturada. Também a descreve como água de camadas aflorantes muito permeáveis (aquífero livre), água de camadas entre outras relativamente menos permeáveis (aquífero confinado), e também, água de camadas relativamente argilosas (aquitardes), água de camadas muito argilosas (aquicludes).

À medida que se aprofunda no solo, sob a camada inicial do solo úmido, a camada seguinte encontrada é a zona de aeração ou insaturada, onde as partículas de solo estão cobertas com um filme de água, mesmo existindo ainda ar entre as partículas. Conforme Tucci e Cabral (2003), nesta zona podem distinguir três regiões: zona de umidade do solo (parte mais superficial), franja capilar (região mais próxima do nível d'água do lençol freático) e zona intermediária (região compreendida entre a zona de umidade e franja capilar).

Na zona saturada, região abaixo do lençol freático, os espaços porosos estão totalmente preenchidos pela água. Esta zona está limitada pela linha de saturação, na parte superior e por uma barreira impermeável, na parte inferior. A zona de aeração está limitada pela superfície do terreno e pela linha de saturação (TUCCI et al., 2007). A parte superior da região (saturada) das águas subterrâneas é denominada lençol freático. Quando o lençol freático repousa sobre o solo, encontram-se lagos e água corrente (BAIRD, 2002).

2.1.2 Aquíferos

Um aquífero é um corpo hidrológico, que tem a capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos (CONAMA n.º 396/2008). A quantidade de água subterrânea que se produz em uma região, depende das características do aquífero e da frequência de recarga (WENDLAND, 2003).

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com as características hidrodinâmicas ou de acordo com as características geológicas. Quanto à primeira classificação são considerados confinados e não confinados (livres ou

freáticos), dependendo da ausência ou da presença da linha da água (TUCCI et al., 2007).

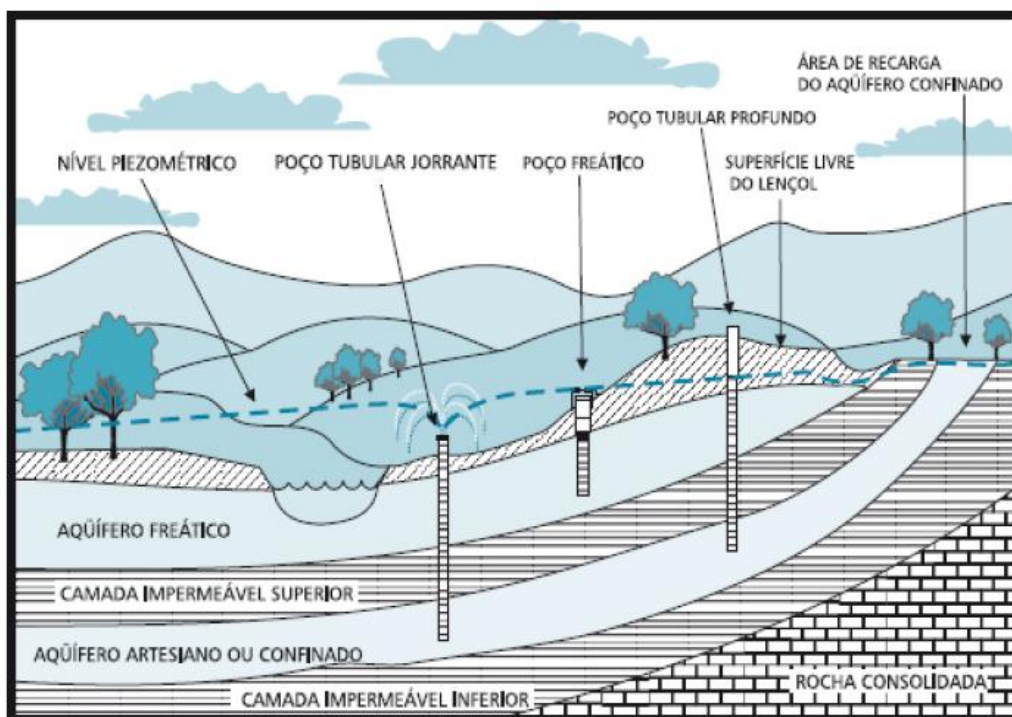
Os aquíferos livres ou freáticos são formações geológicas permeáveis, parcialmente saturadas de água, limitadas na base por uma camada impermeável. A maior parte da superfície da água está diretamente em contato com a pressão atmosférica. Sua superfície piezométrica é conhecida como superfície freática, nível freático ou lençol freático. São os aquíferos mais comuns e mais explorados pela população e que apresentam maiores problemas de contaminação (WENDLAND, 2003).

Os aquíferos confinados são formações geológicas permeáveis, limitadas no topo e na base por materiais relativamente impermeáveis e que estão sob pressões maiores que a pressão atmosférica (CLEARY, 1989). A

Figura 2-2 ilustra os diferentes aquíferos.

De acordo com as características geológicas são considerados porosos, cárstico ou fissural. O aquífero poroso ocorre em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados e solos arenosos, decompostos *in situ*. Constituem os melhores e maiores reservatórios de água subterrânea. Já o aquífero fissural ocorre em rochas ígneas e metamórficas, sendo que normalmente abriga pouca água e geralmente de má qualidade como o cristalino do Nordeste Brasileiro. O aquífero cárstico acontece em rochas carbonáticas, onde as feições cársticas mais comuns contêm canais de dissolução e cavidades de grande porte, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2011).

Figura 2-2. Tipologia de diferentes aquíferos.



Fonte: FUNASA (1999) apud BRASIL (2006a)

2.1.3 Impactos, qualidade e proteção da água subterrânea

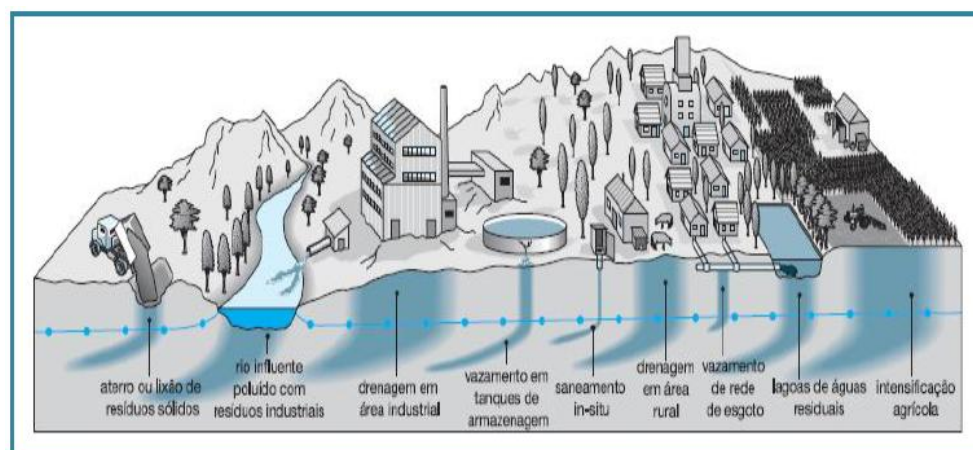
A exploração dos recursos naturais pelo homem tem afetado toda a biosfera, alterando o equilíbrio existente. Em relação às águas subterrâneas, são várias as atividades que causam alterações nas características físicas, químicas e/ou biológicas. Foster et. al. (2002) descrevem algumas fontes de contaminação decorrentes das atividades humanas (Quadro 2-2 e Figura 2-3).

Quadro 2-2. Fontes de contaminação das águas subterrâneas

Fontes de contaminação	Características	Contaminantes
Esgotos sanitários e fossas sépticas	Águas servidas, utilizadas para higiene pessoal, lavagem de utensílios e cozimento de alimentos.	Matéria orgânica biodegradável, microrganismos, nutrientes, óleos, graxas e detergentes.
Resíduos sólidos	São os rejeitos de atividades industriais, domésticas, hospitalares e agrícolas.	Chorume, microrganismos patogênicos, fenóis, óleos e graxas, metais pesados, etc.
Águas residuárias industriais	Água de processo e águas sanitárias	Hidrocarbonetos aromáticos, metais pesados, organismos fecais, nitratos, metais e substâncias radioativas.
Águas de drenagem urbana	Águas de lavagem sobre o solo	Microrganismos, nutrientes, materiais em suspensão, etc.
Fontes acidentais	Acidentes ocorridos em depósitos de produtos perigosos, derramamento de óleo e explosão de caráter radioativo.	Substâncias radioativas, metais pesados, ácidos, etc.
Fontes atmosféricas e Run-off urbano	Queima de combustíveis fósseis, que geram chuvas ácidas e percolação de poluentes atmosféricos. Emissão de veículos automotores	Sólidos dissolvidos e em suspensão, hidrocarbonetos orgânicos, químicos sintéticos e naturais, metais pesados, compostos de enxofre e nitrogênio.
Manejo da água subterrânea	Poço ou captação cuja construção /projeto inadequado permite o ingresso direto de água superficial ou água subterrânea rasa poluída. Intrusão salina, rebaixamento do aquífero.	Sais, acidez da água e aumento da concentração de poluentes.
Contaminação Natural	Está relacionada com a evolução química da água subterrânea e a dissolução de minerais (pode ser agravada pela poluição ocasionada pela atividade humana e /ou extração excessiva)	Principalmente fluoreto e ferro solúvel, às vezes sulfato de magnésio, arsênico, manganês, selênio, cromo e outras espécies inorgânicas.
Atividade cemiterial	Substâncias provenientes da decomposição de cadáveres	Necrochorume (liquame ou putrilagem).

Fonte: Foster et al. (2002)

Figura 2-3. Processos de poluição da água subterrânea.



Fonte: Foster et al.(2002)

Os esgotos sanitários não tratados representam, nos grandes centros, a principal causa da poluição dos rios urbanos e das praias nas cidades costeiras, gerando preocupação porque em algumas áreas, o nível do lençol freático está muito próximo à superfície podendo haver infiltração de esgotos na água subterrânea, e a utilização da mesma pela população, através de poços artesianos (SILVA, 2012)

O uso generalizado de fossas sépticas deve ser gradativamente substituído por redes coletoras de esgotos, para atenuar a quantidade de cargas contaminantes depositadas no subsolo que, mesmo assim, ainda podem liberar uma significativa quantidade no aquífero mais profundo oriundos das décadas anteriores (FOSTER et al., 2002).

Quanto às águas residuárias industriais Tucci et al. (2007), alertam que estas apresentam uma larga variação na sua composição e vazão e esta diversificação introduz, no ambiente, várias substâncias tóxicas, em baixas concentrações, e produtos radioativos.

Contribuindo também para estes cenários de contaminação do ambiente e da água subterrânea, concorre a ausência de aterros sanitários, através do chorume, líquido de cor negra resultante da decomposição da matéria orgânica e com carga alta de contaminantes que pode atingir as águas superficiais e subterrâneas. Embora grande parte dos resíduos gerados possa ser reduzida através de reciclagem de materiais e por incineração, o método básico de armazenagem desses resíduos continua sendo os aterros sanitários (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2011).

Já, nas atividades agrícolas em áreas de cultivo intensivo, a responsabilidade pela degradação das águas subterrâneas é proveniente dos fertilizantes e pesticidas. Os principais nutrientes utilizados são: nitrogênio, fósforo e potássio. Dentre os fertilizantes o nitrogênio na forma de nitrato é o principal contaminante (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2011). Quanto aos pesticidas, Hildebrandt et al. (2008), destacam que sua presença nos mananciais destinados ao consumo humano implica em elevados custos de tratamento, possíveis incidências toxicológicas e proibição do uso da água.

O manejo inadequado da água subterrânea e a superexploração nas áreas costeiras é a principal causa do aumento da salinização dos aquíferos. A retirada excessiva de água permite o avanço da cunha salina, pois não há uma fiscalização efetiva por parte do poder público que impeça os excessos (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2011).

A água pode veicular um elevado número de doenças e essa transmissão acontece por diferentes maneiras. O mecanismo de transmissão de doenças mais comum está diretamente relacionado à ingestão de água de má qualidade, que contenha componentes nocivos à saúde, e a presença desses componentes no organismo humano provoca o aparecimento de doenças (BRASIL, 2006a).

Durante séculos a qualidade da água não foi considerada fator restritivo, embora os aspectos estéticos (aparência, sabor, odor) influenciassem na escolha da fonte. As pessoas não relacionavam a água impura às doenças e não dispunham de tecnologia e conhecimento necessários para distinguir que a estética agradável não garantiria a ausência de microrganismos prejudiciais à saúde (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2011).

A água encontrada na natureza possui uma série de impurezas, que definem suas características físicas, químicas e biológicas. Essas impurezas podem torná-la imprópria para o consumo humano. A “água pura” é um conceito hipotético, uma vez que apresenta elevada capacidade de dissolução e transporte e, em seu percurso, superficial ou subterrâneo, incorpora um grande número de substâncias, que em excesso podem comprometer determinados usos (BRASIL, 2006a).

A água segura para o consumo humano, na definição da Organização Mundial de Saúde, WHO (2005), *apud* Pádua et al. (2009), é aquela que não apresenta risco significativo à saúde humana durante o consumo por toda vida, incluindo as sensibilidades inerentes a cada estágio de vida.

A água potável é definida como aquela água destinada ao consumo humano, sem que ofereça riscos à saúde. No Brasil, os parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos que atendam aos padrões de potabilidade são fixados pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde,

atualmente revisada, tendo como principal referência e influência para a sua periódica atualização as diretrizes da Organização Mundial de Saúde - OMS (PÁDUA et al., 2009).

Segundo a referida Portaria, o padrão de potabilidade corresponde aos valores máximos permitidos – VMP (concentrações limites), estabelecidos para cada parâmetro (Quadro 2-3), das características das águas destinadas ao consumo humano aceito pela saúde pública.

Quadro 2-3. Parâmetros para avaliação de qualidade de água para consumo.

Parâmetros	Padrões de potabilidade (VMP) ¹	
	Portaria 2914/MS	OMS
Cor Aparente	15 mg Pt-Co/L	15 Pt/L
pH	6,0 - 9,5	6,5 - 8,5
Turbidez	5,0 uT	5,0 UT
Sólidos Totais Dissolvidos	1000 mg/L	1000 mg/L
Cloreto	250 mg/L	250 mg/L
Nitrito	1,0 mg/L (como N)	-
Nitrato	10 mg/L (como N)	10 mg/L (como N)
Sulfato	250 mg/L	400 mg/L
<i>E. coli</i>	Ausentes em 100 mL	Ausentes em 100 mL
Coliformes Totais	Ausentes em 100 mL	Ausentes em 100 mL

(1) VMP: Valor Máximo Permitido

Fonte: Silva (2012)

Esses valores são fixados pela OMS através de peritos, que pesquisam a influência de cada substância e produto no homem e nos animais, definindo assim, a quantidade que pode ser absorvida diariamente, a ingestão diária tolerável (IDT) ou dose diária admissível (DDA), sem riscos para a saúde (PÁDUA et al., 2009).

Através dessa ingestão diária tolerável, calculam-se os valores máximos permitidos (VMP) de uma substância na água para consumo humano, levando em consideração a massa corporal média, a ingestão diária tolerável e a quantidade de água ingerida, em média, por dia (PÁDUA et al., 2009). Cabe destacar que esse procedimento não leva em consideração possíveis efeitos sinérgicos entre substâncias simultaneamente presentes na água e situação frequente na utilização de agrotóxicos (BRASIL, 2006a).

Na visão da OMS incorporada à Portaria 2914/2011 do MS, os riscos à saúde impostos pelas substâncias químicas, não podem ser comparados aos riscos microbiológicos de transmissão de doenças (BRASIL, 2006b).

Quanto à legislação voltada para este recurso e em específico à sua proteção, Capucci et al. (2001), relatam que nos países desenvolvidos vem dando, paulatinamente, mais atenção à proteção e recuperação dos aquíferos e que por isso, existem legislações implantadas e em execução por agências governamentais bem equipadas e que, a coleta de dados e os programas de monitoramento são avançados e periódicos. Já nos países em desenvolvimento, a ênfase é direcionada para a extração da água subterrânea.

Ainda os autores, no Brasil, por exemplo, são inúmeros os exemplos de perfuração desordenada de poços, da falta de registro dos mesmos e do desrespeito com suas áreas de proteção. O monitoramento da qualidade das águas ocorre apenas onde a necessidade de proteção já é reconhecida.

Hager e D'almeida (2008), chamam a atenção que o arcabouço legal brasileiro para gestão de recursos hídricos foi construído com base nos aspectos ligados às águas superficiais. Quanto à concepção da normatização das águas subterrâneas, por serem de domínio estadual, resultasse com que por muito tempo não houvesse uma orientação nacional e geral para as questões sobre estes recursos hídricos.

Hager (2007) *apud* Hager e D'Almeida (2008), descreve os principais diplomas legais que formam o arcabouço legal das águas subterrâneas no Brasil, e que são descritos alguns destes diplomas no Quadro 2-4.

Quadro 2-4. Alguns dos diplomas legais que formam o arcabouço jurídico das águas subterrâneas no Brasil.

LEGISLAÇÃO RELACIONADA AO MEIO AMBIENTE (legislações ambientais que podem e devem ser aplicadas às águas subterrâneas)	
Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA	
CONAMA n.º 303, de 2002	Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, inclusive conceituando nascentes como exutório de águas subterrâneas.
CONAMA n. 335, de 2003	Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios.
CONAMA n. 396, de 2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento de águas subterrâneas.
CONAMA em discussão:	Minuta de resolução sobre proteção da qualidade do solo e critérios e valores de referências para solo e valores de interferência/intervenção nas águas subterrâneas e gerenciamento de áreas contaminadas.
Legislação relacionada aos recursos minerais e águas adicionadas de sais	
Código de Mineração – Decreto-Lei nº 1.985, de 1940 alterado pelo Decreto-Lei nº 227, de 1967	Art. 10 – reger-se-ão por Leis especiais: -V- as jazidas de águas subterrâneas
Código de Águas Minerais, Decreto nº 7.841,	As águas minerais são reguladas pelo Código de Águas Minerais por determinação do Código de Mineração, competindo ao

LEGISLAÇÃO RELACIONADA AO MEIO AMBIENTE (legislações ambientais que podem e devem ser aplicadas às águas subterrâneas)	
de 1945	Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM – a autorização de lavra destas águas.
Portaria DNPM n. 117, de 17 de julho de 1972	estabelece instruções sobre os estudos in loco de fontes de águas minerais ou potáveis de mesa como condição indispensável à aprovação do relatório final de pesquisa.
Portaria DNPM n. 231, de 31 de julho de 1998	aprova metodologia de estudos necessários à definição de áreas de proteção de fontes, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa naturais.
Legislação relacionada a qualidade da água para consumo humano	
Resolução ANVISA RDC nº 274/05	fixa a identidade e as características mínimas de qualidade a que devem obedecer a água mineral natural, a água adicionada de sais envasadas e o gelo para consumo humano. -substituiu e revogou a Resolução RDC nº 54/00 e a Resolução 309/99 e alterou a definição das águas já como consequência do aumento da discussão, especialmente entre a água natural, água mineral e água industrial (adicionada de sais).
Legislação relacionada ao uso dos recursos hídricos	
Código de Águas – Decreto Federal n. 24.643, de 10 de julho de 1934	Dispõe sobre águas subterrâneas em seu Título IV, artigos 96 a 101:
Constituição Federal de 1988	Art. 20 – São bens da União: -III- os lagos, rios, e quaisquer correntes de águas, superficiais ou subterrâneas, inclusive os aquíferos em terrenos de seu domínio ou que banhem mais de um estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais; -IX – os recursos minerais, inclusive os do subsolo; OBS: em negrito, alteração proposta pelo Projeto de Emenda Constitucional nº 43 de 2000, que visa a alteração da dominialidade das águas subterrâneas. Os autores consideram que não é preciso a alteração da dominialidade para que a União possa exercer sua responsabilidade soberania em relação, por exemplo, aos aquíferos transfronteiriços e que a hermenêutica constitucional e o sistema de gerenciamento instituído no Brasil, entre outras argumentações, demonstram isso. ... -Art. 26 – Incluem-se entre os bens do Estado: -I – as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, circunscritas ao seu território, ressalvadas, nesse caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União; ... Art. 200. Ao sistema único de saúde compete, além de outras atribuições, nos termos da lei: -VI - fiscalizar e inspecionar alimentos, compreendido o controle de seu teor nutricional, bem como bebidas e águas para consumo humano;
Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997	-Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH. -Apresenta como diretrizes que a água é um bem econômico, de domínio público, o uso prioritário para consumo humano, o uso múltiplo, o gerenciamento por bacias hidrográficas e a gestão descentralizada e participativa. -Dentre outros, estabelece os instrumentos de gestão e destaca que as águas subterrâneas estão sujeitas a outorga. Apesar do conceito – recursos hídricos – também incluir os recursos hídricos subterrâneos, é claro o tratamento superficial da lei. Não deixa claro as questões subterrâneas e não há indicação do tratamento das províncias hidrogeológicas em relação às bacias hidrográficas.
Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH	
CNRH n. 9, de 21 de junho de 2000	Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas
CNRH n. 22, de 24 de maio de 2002	Estabelece diretrizes para a inserção das águas subterrâneas no instrumento plano de recursos hídricos.

LEGISLAÇÃO RELACIONADA AO MEIO AMBIENTE (legislações ambientais que podem e devem ser aplicadas às águas subterrâneas)	
Minuta da Resolução	Estabelece critérios e procedimentos gerais para a proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro.
Moção n. 12, de 29 de novembro de 2002	Solicita que sejam adotadas as medidas necessárias ao fortalecimento do Programa de Águas Subterrâneas para a Região Nordeste.
Moção n. 25, 26 de março de 2004	-Solicita que os editais do CTHidro contemplem o desenvolvimento de estudos e projetos relacionados a procedimentos metodológicos de gestão integrada da qualidade e quantidade de água subterrânea.
Moção n. 38, de 7 de dezembro de 2006	Recomenda a adoção do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS pelos órgãos gestores e os usuários de informações hidrogeológicas.
Moção 39, de 7 de dezembro de 2006	Recomenda a integração dos Sistemas de Informação: SINIMA, SIAGAS, SIGHIDRO, SNIS, SIPNRH e SNIRH.

Fonte: elaborado a partir de Hager, 2007.

Quanto aos diplomas legais de esfera estadual, todos os Estados promulgaram a sua Política de Recursos Hídricos, entretanto, a regulamentação dos itens relacionados às águas subterrâneas se restringe à questão da outorga e proteção, embora alguns estados tenham regulamento específico, (HAGER; D'ALMEIDA, 2008).

No que concerne aos dispositivos legais do Estado do Maranhão voltados para os recursos hídricos subterrâneos, o Decreto nº 28.008 de 30/01/2012, que regulamenta a Lei nº 8.149 de 15/06/2004 e a Lei nº 5.405 de 08/04/1992 segue como um destaque positivos no cenário das políticas públicas ambientais. Dentre os importantes Artigos redigidos, destaca-seo Art. 19pela relação poluição/saúde/bem-estar e demais usos:

*Art. 19. É proibido poluir as águas subterrâneas assim entendidas, qualquer alteração das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, **de forma que possa ocasionar prejuízo à saúde**, à segurança e ao bem-estar da população, bem como comprometer o seu uso para fins agropecuários, industriais, comerciais, recreativos e causar danos à fauna e à flora. **(grifo nosso)***

Ainda para Hager e D'almeida (2008), os avanços obtidos estabelecem bases legais e institucionais fundamentais para o desenvolvimento da gestão, sendo importante também destacar que não basta haver a normatização, mas ela tem que ser bem conhecida, entendida e aplicada. Assim, como as instituições com competências legais devem ser fortalecidas para que possam efetivamente cumprir seu papel e possibilitar a efetiva gestão das águas subterrâneas.

2.1.4 Métodos de avaliação de vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação

A definição de vulnerabilidade adotada pela conferência internacional "*Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*", indica que vulnerabilidade à poluição é a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente e que isto é função apenas das características intrínsecas do aquífero (VAN DUJVENBOODEN; VAN WAEGENINGH, 1987).

Para Foster e Hirata (1988), a vulnerabilidade de um aquífero à poluição significa sua maior ou menor susceptibilidade de ser afetado por uma carga poluente imposta.

Para Auge (2004), a vulnerabilidade pode ser definida em intrínseca e específica. A vulnerabilidade intrínseca tem maior utilidade em trabalhos de planejamento do uso da água, da ocupação e uso do território, principalmente no que se refere à preservação da qualidade, servindo como um instrumento para avaliação de usos futuros do solo, mas também pode funcionar como um indicador de fontes poluidoras já existentes, instaladas sobre aquíferos menos ou mais susceptíveis à poluição. Já a específica, inclui parcialmente o conceito de risco, toda vez que se refere ao perigo de deterioração em relação a substâncias poluentes específicas.

Avaliações de vulnerabilidade das águas subterrâneas são um meio para sintetizar informação hidrogeológica complexa em uma forma utilizável por planejadores, tomadores de decisão e políticas, geocientistas, e ao público. O desenvolvimento de mapas de vulnerabilidade é útil para muitos aspectos da gestão da água, incluindo o desenvolvimento de avaliações de risco e outros (LIGETT; TAWAR, 2009).

Os métodos para determinar a vulnerabilidade variam de qualitativos a quantitativos, acessíveis a onerosos, avaliações de indexação simples ao complexo e avaliações de modelagem numérica (FOCAZIO et al., 2002). A abordagem usada para determinar a vulnerabilidade para um projeto particular vai depender de numerosos fatores, incluindo a finalidade e âmbito dos requisitos de estudo, escala, disponibilidade de dados, tempo, custo e do usuário final.

Ligett e Tawar (2009), reúnem alguns métodos de avaliação de vulnerabilidade (Quadro 2-5) e classifica-os como: (i) Métodos de Índice (e sobreposição), (ii) Métodos estatísticos, e (iii) Métodos de processamento (Gogu; Dassargues, 2000;. Focazio et al., 2002).

Quadro 2-5. Exemplos selecionados de métodos de mapeamento de vulnerabilidade.

Caixas com cores cinzentas indicam parâmetros incluídos em um determinado método; caixas em branco indicam parâmetros não incluídos; caixas em cores cinza escuro indicam possível inclusão de parâmetros, o que dependerá do estudo real.

NOME E REFERÊNCIA	TIPO	EXEMPLOS	PARAMETROS					
			D	R	A	S	U	O
Métodos de Índices								
DRASTIC (Aller et al., 1987)	VIN	Al-Hanbali and Kondoh (2008), Draoui (2008), Liggett et al. (2006)						
GOD (Foster, 1987)	VIN	Gogu et al. (2003), Neukum; Hötzl (2007)						
EPIK (Doerfliger et al., 1999)	VIN	Vías et al. (2005), Neukum; Hötzl (2007)						
Aquifer Vulnerability Index - AVI (Van Stempvoort et al., 1993)	VIN	Wei (1998), Alberta Land Resource Atlas of Alberta (2009)						
Métodos Estatísticos								
Regressão Logística (Helsel; Hirsch 1992)	VES	LaMotte; Greene (2007), Antonakos; Lambrakis (2007)						
Métodos de Processos								
Surface to Aquifer/Well Advection Time - SAAT/SWAT (Ontario Ministry of the Environment 2006)	VIN	N/A						
Numerical Models (e.g., MODFLOW [US Geological Survey], FEFLOW [DHI Software])	VIN e VES	Frind et al. (2006), Butscher; Huggenberger (2008)						

a VIN = vulnerabilidade intrínseca; VES = vulnerabilidade específica.

b D = depth to water (profundidade da água); R = recharge/infiltration (recarga/infiltração); A = aquifer characteristics/características do aquífero (material, conductivity, etc.); S = saturated zone characteristics/características da zona saturada (e.g., flow patterns, layering, hydraulic gradient); U = unsaturated zone characteristics/características da zona insaturada (material, hydraulic conductivity, soil moisture); O = other characteristics/outras características (e.g., explicit level of confinement, karst features, permeable pathways).

Fonte: adaptado de Liggett; Talwar, 2009.

Métodos de indexação são muito populares porque eles são fáceis de implementar, simples de produzir, usam dados prontamente disponíveis, e muitas vezes produzem resultados categóricos (Focazio et al., 2002). Este tipo

de método são os mais adequados para a produção de ferramentas de rastreio de escala regional, para uso na tomada de decisões e para priorizar áreas de foco e nível de avaliações no local. Sua limitação fica por conta da natureza subjetiva dos sistemas de classificação, e porque o sistema hidrogeológico não é explicitamente representado (LIGGETT; TALWAR, 2009).

Métodos estatísticos para avaliar a vulnerabilidade envolvem o cálculo da probabilidade de um determinado contaminante superior a uma certa concentração. Estes Métodos, geralmente começam com uma análise e mapeamento da qualidade da água a partir de locais conhecidos. Pode ser usado quando há um interesse específico para um determinado contaminante sobre uma grande área (LIGGETT; TALWAR, 2009).

Métodos baseados em processo são poderosos para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas (FOCAZIO et al., 2002). Estes métodos baseados em processo usam abordagens determinísticas para estimar o tempo de viagem, concentrações de contaminantes, e duração de contaminação para quantificar áreas de alta e baixa vulnerabilidade. Estas abordagens podem incluir soluções analíticas ou modelos de computador numéricos (*SAAT, SWAT, MODFLOW, MIKE-SHE*).

Além disso, os métodos baseados em processos podem avaliar o fluxo de águas subterrâneas ou de transporte de contaminantes no subsolo. O método e o modelo de escolha dependem do alcance de um determinado estudo.

Gogu e Dessargues, (2000), também reúnem importantes métodos utilizados para a avaliação da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas (Quadro 2-6). Os autores agrupam em duas categorias básicas: métodos de configurações hidrogeológicas complexos que implica uma avaliação qualitativa onde geralmente, um mapa de sobreposição das condições hidrogeológicas, hidrográficas e morfológicas de médio a grande escala é usada (Albinet; Margat 1970); assim como métodos de sistemas paramétricos. Para este último uma sub-classificação ainda foi feita em: métodos de sistemas de matriz (MS) e métodos de sistemas de avaliação (RS) e métodos de modelos de contagem de sistema de pontos (PCSM). Para todos

os métodos paramétricos o procedimento do sistema é praticamente o mesmo. A definição do sistema depende da seleção desses parâmetros considerados representativos para a avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas.

Quadro 2-6. Exemplos de métodos de mapeamento de vulnerabilidade. Caixas com cores cinzentas indicam parâmetros utilizados.

MÉTODO	TIPO	PARÂMETROS BÁSICOS													
Referência		Variabilidade de Inclinação na Superfície Topográfica	Densidade da Rede de Vazões	CARACTERÍSTICAS DO SOLO				Aquífero conectado a superfície da Água	Rede de Recarga	Características da Zona Insaturada	Profundidade	Características Hidrogeológicas	Condutividade Hidráulica do Aquífero	Espessura do Aquífero	Tipo de Uso do Solo (*)
				Textura, Espessura e Mineralogia	Umidade Efetiva	Permeabilidade	Propriedades Físicas e Químicas								
Albinet; Margat 1970	HCS														
Goossens; Van Damme 1987	MS														
Carter; Palmer 1987	MS														
GOD, Foster 1987	RS														
DRASTIC, Aller et al., 1987	PCSM														
SEEPAGE	RS														
SINTACS, Civita 1994	PCSM														
AVI, Van Stempvoort et al., 1993	RS														
ISIS, Civita; Regibus 1995	RS														
EPIK, Doerflinger; Zwahlen 1997	PCSM														

Fonte: Gogu e Dessargues, (2000)

2.1.5 Modelagem de dados espaciais e cartográfica.

A modelagem consiste em decompor o mundo real em uma série de sistemas simplificados para alcançar uma visão sobre as características essenciais de um certo domínio. A representação de modelos pode ser realizada através de vários tipos de linguagem, quer seja matemática, lógica, gráfica ou física, sintetizando-o em um modelo reduzido(SOARES FILHO, 2000).

Neste processo, diversos níveis de abstração ocorrem, sendo a realidade traduzida para uma série de modelos, até que a solução possa ser implementada. O sistema de informação geográfica (SIG) possui este potencial analítico que, como saída, produz um mapa que será a solução para a formulação da questão ou modelo de investigação.

Nesta perspectiva, estes SIG's podem ser vistos como uma caixa de ferramenta de processamento de mapas voltada para a solução de modelos, a qual incorpora conceitos fundamentais do espaço geográfico e estimula aplicações criativas (SOARES FILHO, 2000). Goodchild (1992), destaca a avaliação do potencial de um SIG particular se dirigir em direção a um tema principal referente a sua capacidade de modelagem de dados.

Em um modelo de geoprocessamento, os entes constituintes são considerados como discretos e contínuo complexo (Figura 2-4). A representação espacial dos entes discretos será implementada por um dos três modos de implantação cartográfica, ou seja o ponto, a linha ou a área. Já os contínuos, serão representados por superfícies matemáticas, grades regulares ou irregulares, como no exemplo do TIN (Triangle Irregular Network) e pelo formato *Raster* (SOARES FILHO, 2000)

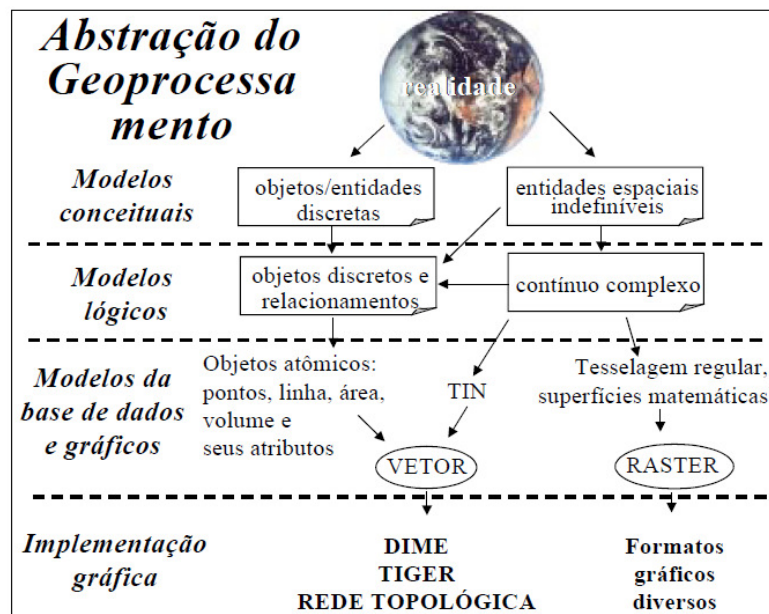
George (1971) ressalta que o mapa ainda pode ser visto como um modelo analógico, onde as feições do mundo real são representadas por uma linguagem simbólica do tipo gráfica, onde os símbolos referem-se a porções abstratas de territórios como palavras podem se referir às partes da realidade.

Nesta linha de raciocínio, Hagget (1972), também considera que o mapa constitui um modelo simbólico (Figura 2-5), onde os fenômenos do mundo real são representados por expressões matemáticas abstratas sendo o

ponto de contato de uma abordagem quantitativa, na qual ele passa a ser uma ferramenta analítica, ajudando o pesquisador a ver o mundo real sob uma nova luz.

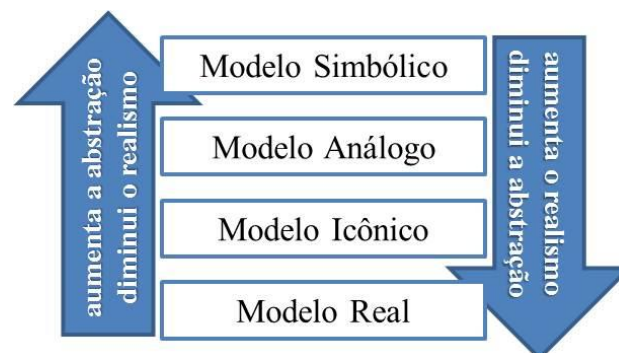
Seguindo esta linha de abordagem, torna-se real a evolução da visão tradicional da cartografia, quando o mapa deixa de ser simplesmente um veículo de informação visual, para também ser um instrumento de complexas análises de relacionamentos espaciais (Berry, 1993). Inserido nesse contexto, o mapa digital trouxe uma revolução em termos da manipulação quantitativa dos dados cartográficos, possibilitando a aplicação de inúmeras técnicas matemáticas e estatísticas e o surgimento de uma verdadeira álgebra espacial associada a uma modelagem cartográfica (BERRY; BERRY, 1988).

Figura 2-4. Níveis de abstração do Geoprocessamento.



Fonte: Soares Filho, 2000.

Figura 2-5. O mapa visto como diferentes tipos de modelo do mundo real.



Fonte: adaptado de Hagget (1972).

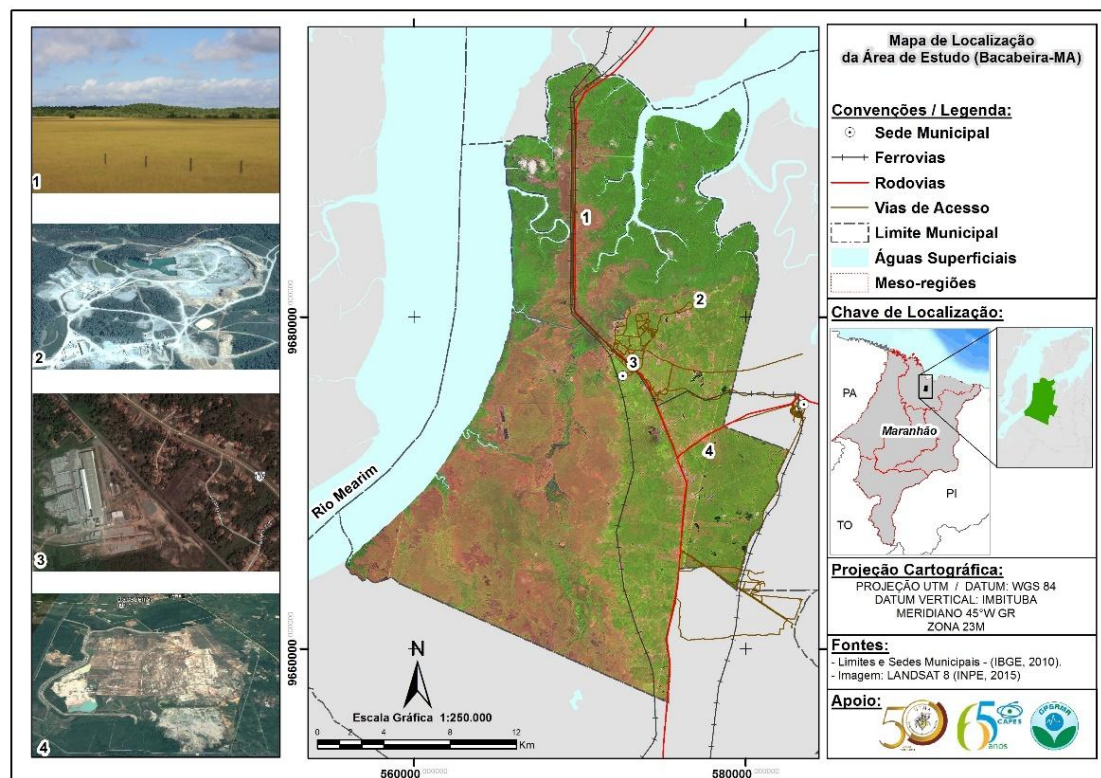
2.2 BACABEIRA E SEU RECURSO HIDRICO SUBTERRÂNEO

2.2.1 Aspectos Gerais

O município de Bacabeira está localizado na Mesorregião Norte-Maranhense (Figura 2-6), limitando-se com o município de São Luís, capital do Estado ao norte; ao leste com município de Rosário; a oeste, com o município de Cajapió e ao sul com o município de Santa Rita. Bacabeira teve sua autonomia política em 10/11/1994, desmembrado do município de Rosário.

A população de Bacabeira em 2010 era de 14.925 habitantes e com uma estimativa para 2016 de 16.812 habitantes em uma área geográfica de 615,58 km² resultando em uma densidade demográfica de 24,25 hab/km² (IBGE, 2010). O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) referente ao ano de 2010 foi 0,629 (Figura 2-6).

Figura 2-6. Mapa de localização da área de estudo, município de Bacabeira-MA.



Fonte. Autor

O município apresenta importantes compartimentos ambientais. Insere-se no bioma amazônico e na zona costeira do Estado do Maranhão possuindo extensas áreas de planícies de campos inundáveis, remanescentes de vegetações nativas (manguezal e floresta ombrófila) e relevo de baixas

altitudes com poucas áreas de depressões. Em contraste a este cenário, apresenta uma urbanização não planejada em processo constante de crescimento, atividades de mineração (brita), vias de intenso transporte ferroviário (Carajás) e rodoviário (BR-135 e BR-420), zonas de passagens de redes elétricas de baixa, média e alta tensão, dutos de rede de abastecimento de água, enfim, uma área sob constante pressão ambiental em todos os seus aspectos.

2.2.2 Aspectos Ambientais (Geologia, Solos, Clima e Hidrologia)

O conhecimento das condições ambientais de uma região, através da análise de dados temporais e da observação da tendência de comportamento, torna-se cada vez mais importante para traçar estratégias que subsidiarão o planejamento e o desenvolvimento social, econômico e ambiental de toda uma região, além é claro da possível associação de fatores de vulnerabilidade dos ambientes e seus recursos relacionados, como as águas subterrâneas, que por sua vez, influencia diretamente na saúde das populações.

Geologicamente, a região do município de Bacabeira, situa-se sobre o alto estrutural denominado Horst de Rosário representado por granitoides pertencentes à Suíte Intrusiva Rosário ao longo do Arco Estrutural Ferrer-Rosário-Bacabal, formada por rochas magmáticas relacionadas ao magmatismo orogênico – pré-colisional do período Riáciano e por sedimentos da era Mesozoica ao Quaternário (Figura 2-7). O magmatismo orogênico na Bacia do Parnaíba resultou na formação dos granitoides da Suíte Intrusiva Rosário e no processo de sedimentação no Cretáceo com os sedimentos da Formação Itapecuru, Formação Terciário-Paleogeno, Formação Barreiras e, finalmente, pelos sedimentos recentes Quaternários representados pelos depósitos Flúvio-lagunares e de mangues (FSADU, 2013).

As rochas granitoides representadas pela Suíte Intrusiva Rosário, conforme Veiga Jr. (2000), é constituída por quartzo dioritos, tonalitos, granodioritos e andesitos, com predominância dos termos tonalíticos com foliação, evidenciada pelos minerais máficos (ricos em ferro), e geralmente afloram em áreas com altimetria inferiores a 5 metros próximos aos depósitos de mangues (FSADU, 2013), e tendo sua origem relacionada a depósitos

orgânicos, detritos de plantas, podendo apresentar a cor amarelada à água (CPRM, 1997).

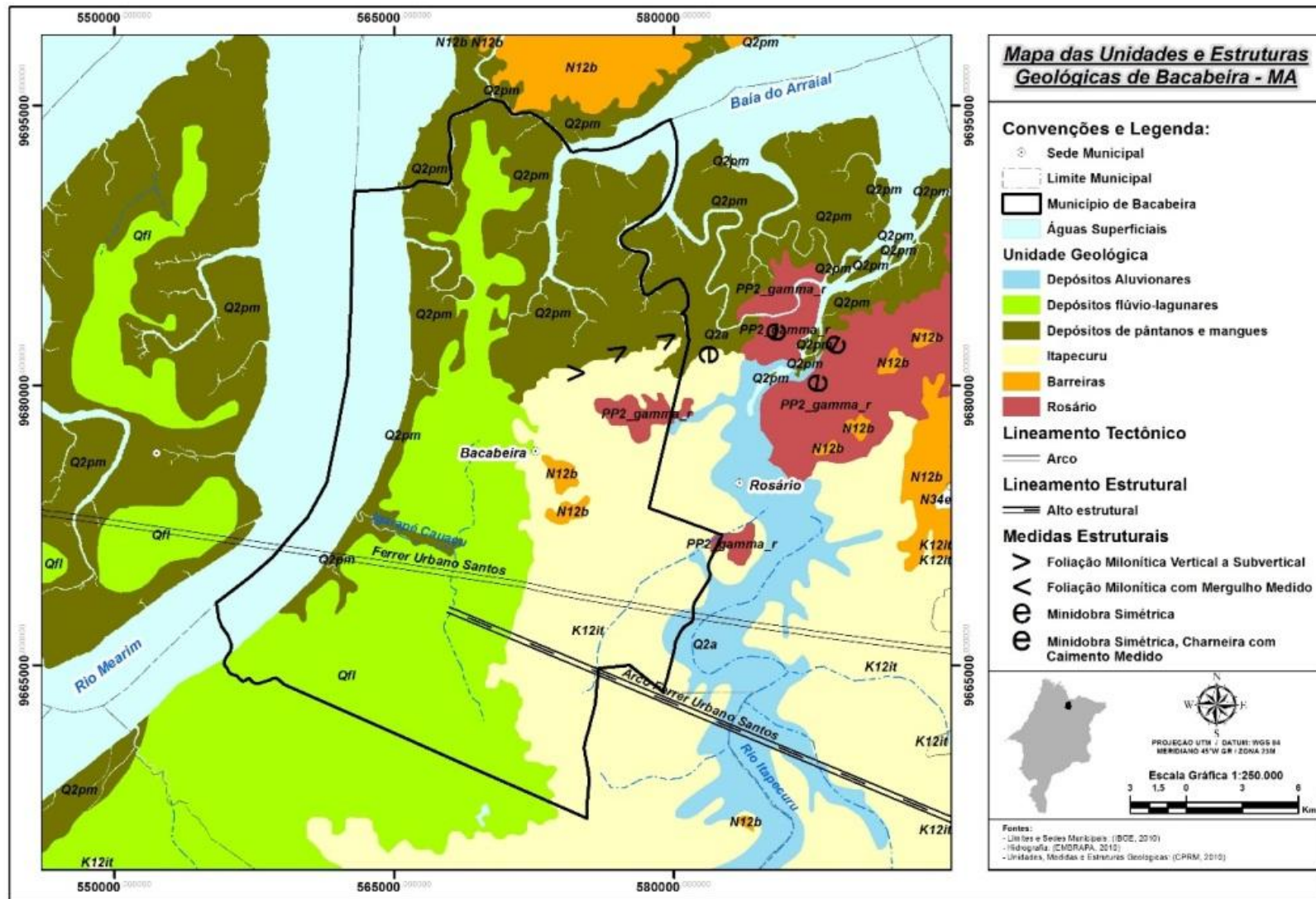
Conforme Richter e Neto (1991), no Brasil são comuns águas com altos teores de ferro, particularmente aquelas captadas em terrenos antigos e aluviões. E que teores elevados de deste elemento também são encontrados em águas poluídas por certos resíduos industriais ou algumas atividades de mineração.

Segundo CPRM (1997) no corpo humano, o ferro atua na formação da hemoglobina, onde a sua carência pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes. DELVIN, et al (1998) afirmam que o acúmulo de ferro no fígado, pâncreas e coração pode levar a cirrose e tumores hepáticos, *diabetes mellitus* e insuficiência cardíaca, respectivamente. Por outro lado, Mahan (2000) afirma que o ferro em excesso pode ajudar a gerar quantidades excessivas de radicais livres que atacam as moléculas celulares, desta forma aumentando o número de moléculas potencialmente carcinogênicas dentro deles.

O solo é a porção do sistema água-terra-ar onde se desenvolve importantes atividades vitais para a vida e onde se estabelece a dinâmica do uso e ocupação do solo. Diagnosticar suas propriedades pedológicas é de suma importância para a caracterização de riscos e vulnerabilidades frente as alterações advindas do uso do solo e no enfrentamento das dinâmicas dos processos do meio físico e dos impactos ambientais adversos.

A EMBRAPA realizou em 1986 o *Levantamento Exploratório de Solos do Estado do Maranhão*, convênio EMBRAPA/SNLS/DRM (1986) na escala de 1:1.000.000, que identificou na área deste estudo (Bacabeira), quatro tipos de solos: Latossolos, Podzólico Vermelho-Amarelado (Argissolos), Solos Indiscriminado de Mangue e Gleissolos.

Figura 2-7. Mapa das Unidades e Estruturas Geológicas do Município de Bacabeira-MA.



Fonte: Autor

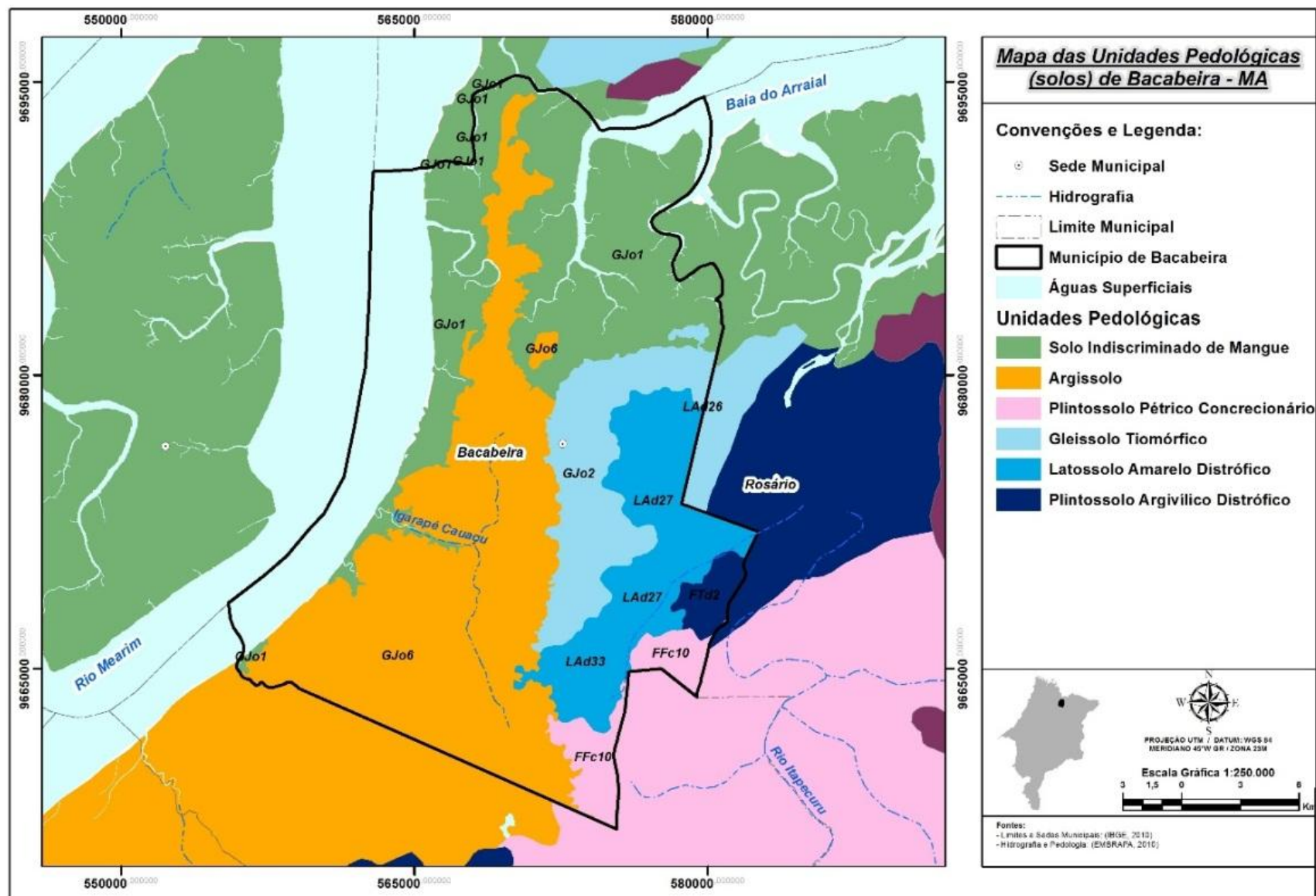
Já em 1998, o Estado do Maranhão realizou um Diagnóstico Ambiental da Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara e Bacabeira, identificando os solos: Podzólicos Vermelho-Amarelado, Areias Quartzosas Distróficas, Plintossolo, Gleissolo e Solos Indiscriminados de Mangue na escala de 1:100.000 (MARANHÃO, 1998).

A nomenclatura dos solos apresentada no mapa pedológico da área de estudo (Figura 2-8), conforme Maranhão (1998) e EMBRAPA (1986) foi adaptada para a 2ª Classificação Brasileira de Solos EMBRAPA/CNPS (2006), sendo registrados as seguintes classes de solo: Argissolo, Latossolo, Plintossolo, Gleissolo e Solos Indiscriminados de Mangue.

Quanto ao clima, no Maranhão as condições climáticas apresentam características de uma área de transição (no sentido sudeste - SE para noroeste - NW) de condições mais secas que caracterizam o semiárido do Nordeste para as condições úmidas do Norte e da Amazônia (EMBRAPA, 1986). Conforme EMBRAPA (2010), o município de Bacabeira está localizada na Zona Tropical Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, semi-úmido 4 a 5 meses secos (Figura 2-9-A).

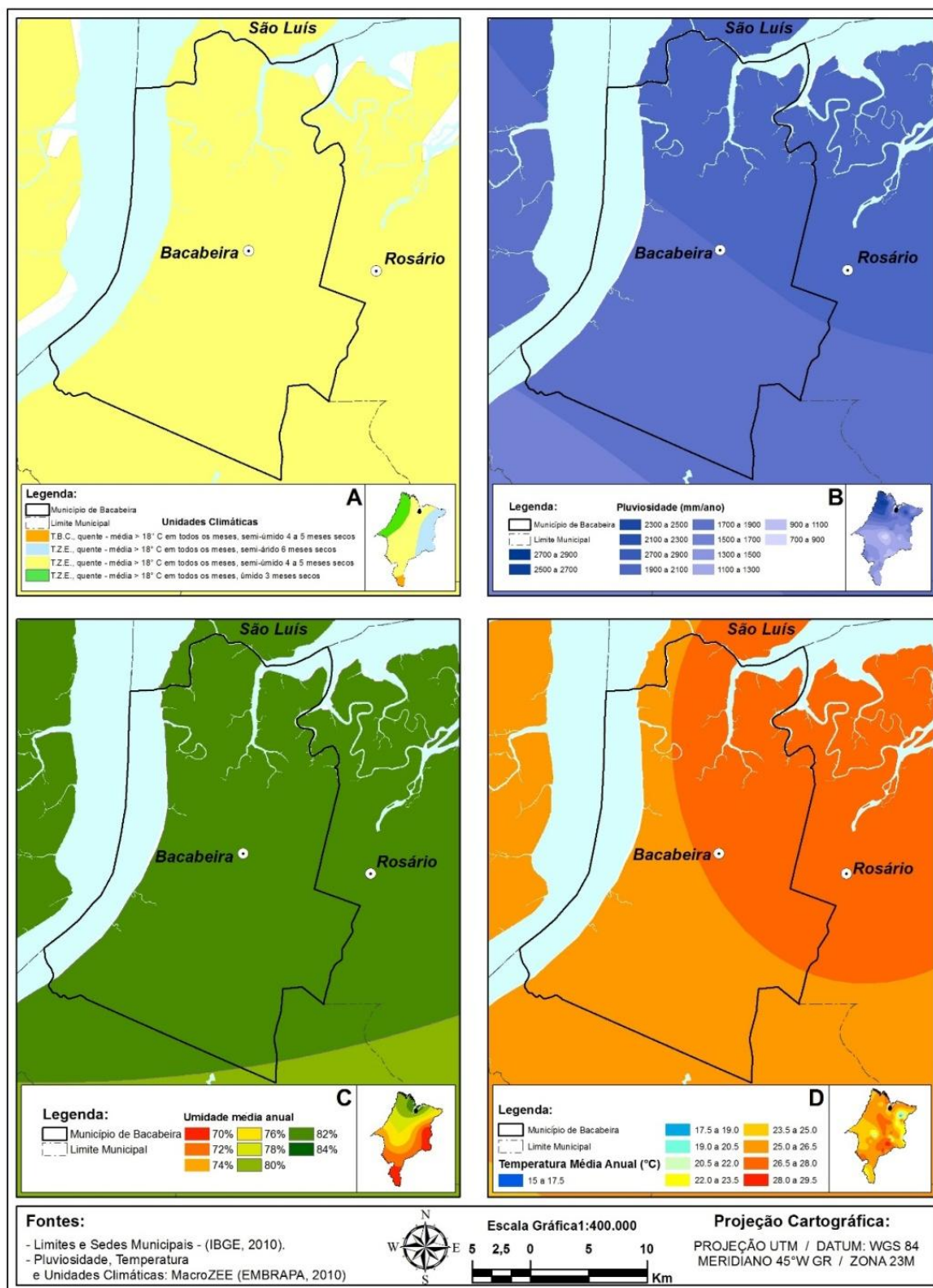
A estação chuvosa vai de dezembro a fevereiro no sul do estado, de janeiro a março no centro, de fevereiro a abril no norte do estado e de março a maio na planície costeira. A região mais úmida no período de fevereiro a abril é a que apresenta maiores valores em termos de totais acumulados, pois está sob o predomínio da mEn (UEMA, 2002). A distribuição da precipitação anual média (Figura 2-9-B) evolui de SE para NW, (EMBRAPA, 1986).

Figura 2-8. Mapa das unidades pedológicas inseridas na área de estudo.



Fonte: Autor

Figura 2-9. Mapas das características climática da região da área estudo. Em A – segue mapa das unidades climáticas. Em B – Mapa de Pluviosidade. Em C – mapa da umidade média anual. E em D – mapa da temperatura média anual.

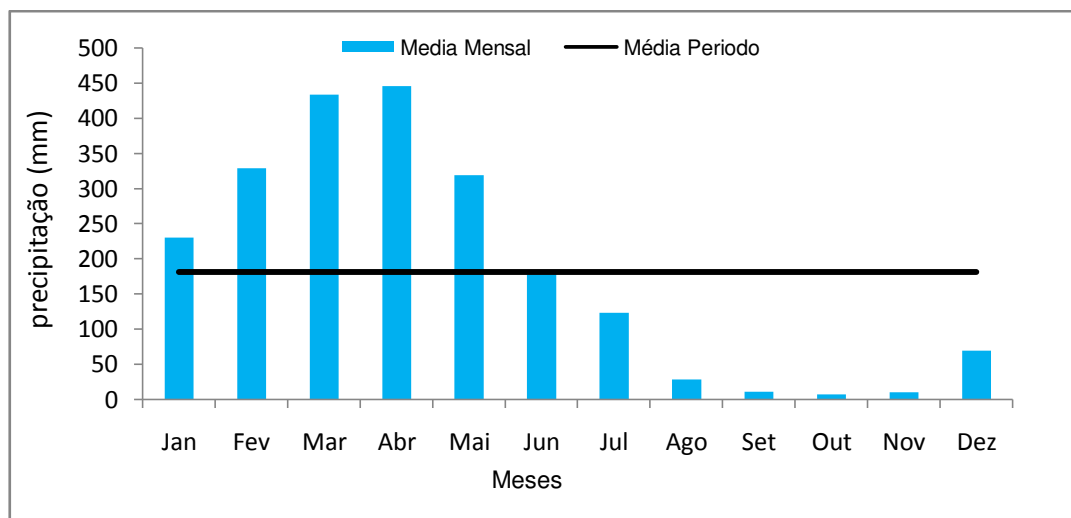


Fonte: Autor

Através de observação e análise de série histórica de 44 anos (1971-2015), de uma estação meteorológica localizada em São Luís, capital do

Estado e município limítrofe ao norte com a área de estudo, Santos (2015), destaca que a região apresenta um padrão chuvoso bem definido, conforme observado na Figura 2-10.

Figura 2-10. Representação gráfica dos valores médios de precipitação mensal (mm) no período de 1971 a 2015.



Fonte: Santos, 2015.

O período chuvoso se inicia no mês de janeiro e se estende até o mês de junho e o período seco inicia em julho e vai até meados de dezembro, portanto 6 meses chuvosos e 6 meses de baixa precipitação. Os meses efetivamente mais secos são setembro, outubro e novembro. A média da precipitação total acumulada do período analisado é de 4.237,1 mm (Santos, 2015).

Alcântara (2004) ao fazer a caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru diagnosticou que a mesma se situa em uma zona de transição dos climas semiáridos do interior do Nordeste para os úmidos equatoriais da Amazônia. Assim no baixo curso, região próxima à área de estudo, o clima úmido se estende até a foz do rio, onde são registradas as mais altas precipitações da bacia, que variam de 1.600 a mais de 2.000 mm durante seis meses (dezembro a junho), enquanto os meses menos chuvosos se concentram no intervalo de julho a novembro.

Molion e Bernardo (2002) argumentam que a estação chuvosa principal no norte e nordeste brasileiro se estende de fevereiro a maio, e que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal fenômeno responsável por

essas chuvas. Tais informações tornam-se relevantes nos aspectos da vulnerabilidade dos aquíferos a partir do momento que, naturalmente a suscetibilidade do mesmo acompanha esta dinâmica pluviométrica pela característica intrínseca do ciclo hidrológico através da recarga hídrica pela infiltração da água no solo. Por tanto, nesta região e no período (janeiro-julho) teremos uma maior susceptibilidade do aquífero sofrer contaminação pelo aumento do seu nível freático com o pico no mês de abril. Neste contexto, essa relação merece ser alvo de estudos mais aprofundados, de forma que se busque conhecer os seus processos interativos associados às características específicas da área estudada.

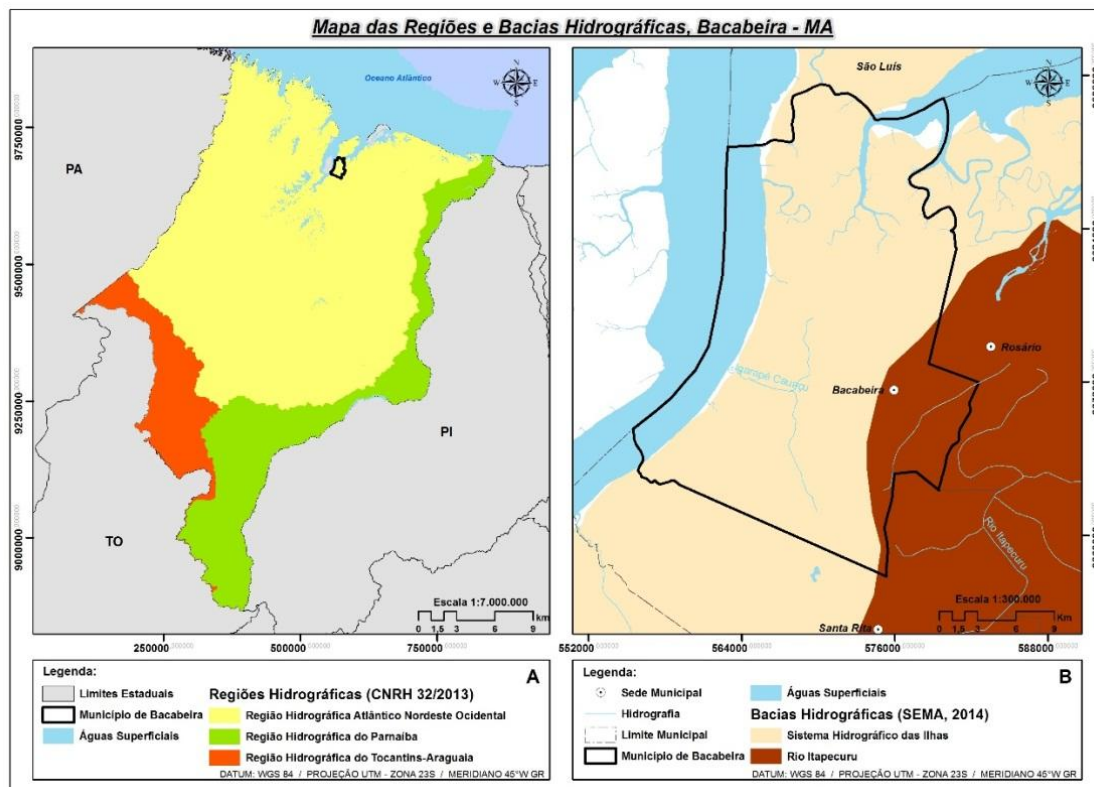
2.2.3 Água Superficial

As bacias hidrográficas do Maranhão são de grandes dimensões e seus rios são permanentes, com expressivo volume de água durante o ano (FEITOSA; ALMEIDA, 2002). Apesar dessa grande malha hídrica, o fornecimento de água com qualidade não é garantido, em decorrência das inúmeras agressões ao meio ambiente, pois na maioria dos municípios não há condições satisfatórias de abastecimento e saneamento básico (MARANHÃO, 2009).

A Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 32 de 25/06/2003 com a finalidade de melhorar o gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos, divide o território brasileiro em 12 (doze) regiões hidrográficas. Conforme esta Resolução, o Estado do Maranhão está inserido em 03 (três) regiões hidrográficas (Figura 2-11-A).

Na delimitação de bacias hidrográficas maranhenses realizada no Macro Zoneamento Ecológico-Econômico pela EMBRAPA (2010), 15 (quinze) bacias foram identificadas, sendo que o município de Bacabeira insere-se em 2 (duas): Sistema hidrográfico das Ilhas Maranhenses e Itapecuru (Figura 2-11-B).

Figura 2-11. Mapas das características hídricas da região da área estudo. A – Mapa das regiões hidrográficas segundo BRASIL/CNRH, 2003. B – Mapa de Bacias Hidrográficas Maranhenses.



Fonte: Autor.

2.2.4 Água Subterrânea

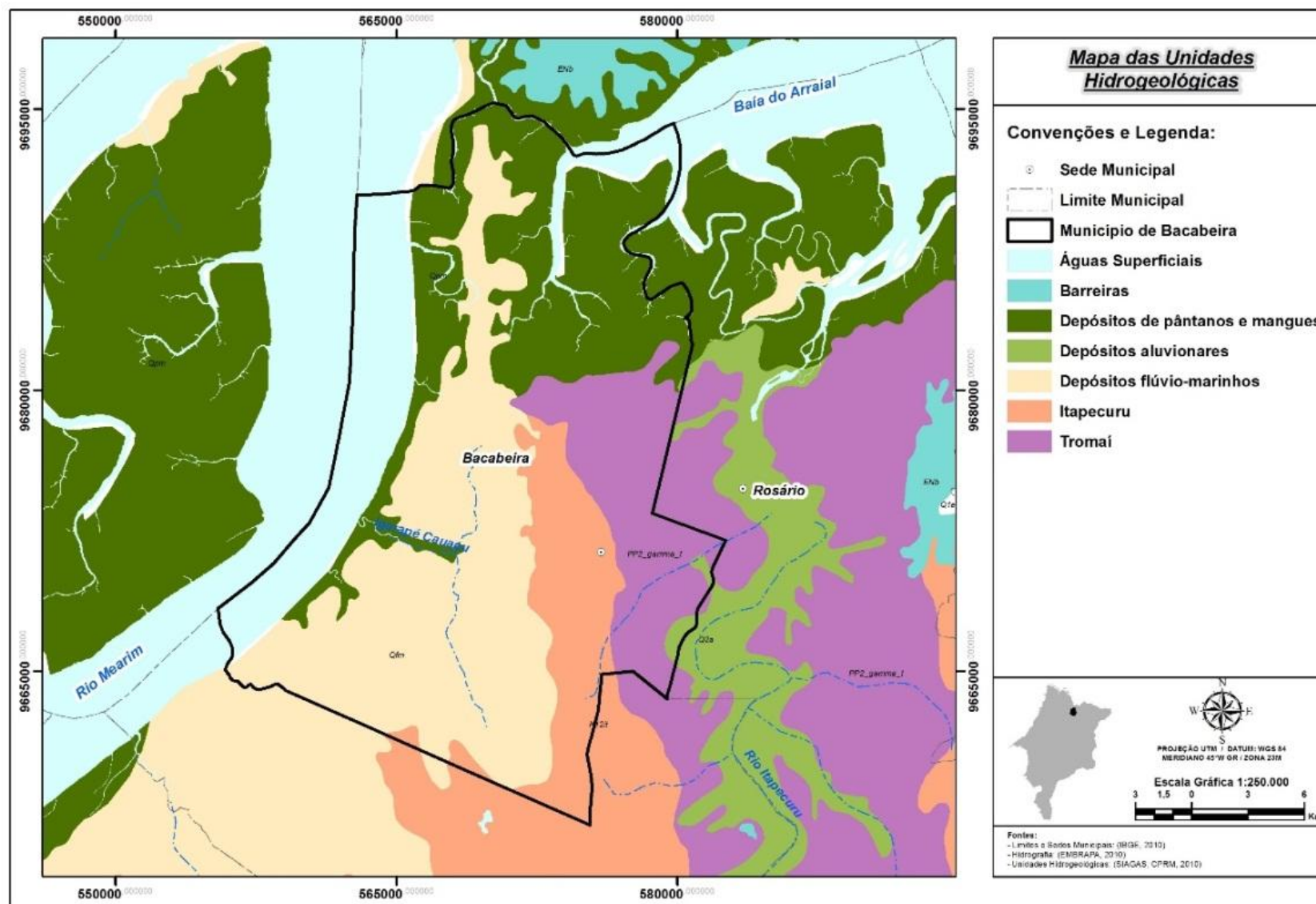
Quanto ao recurso hídrico subterrâneo, o Estado do Maranhão está localizado, quase integralmente, na Bacia Sedimentar do Rio Parnaíba, uma das mais importantes províncias hidrogeológicas do País, com possibilidades promissoras de armazenamento e exploração de águas subterrâneas (BATISTELA et al., 2013). Conforme CPRM (2012), em Bacabeira encontram-se as unidades hidrogeológicas Depósitos de Pântanos e Mangues, Depósitos Aluvionares, Depósitos Flúvio-Marinheiros, Tromaí e Itapecuru (Figura 2-12). Quanto a este último, é o que se apresenta como de melhor aproveitamento para captação de água subterrânea por conta de camadas arenosas em profundidades que variam em cerca de 70 a 170 m, e espessura total variando entre 30 e 40 m (FSADU, 2013).

Em 2008, o Serviço Geológico do Brasil realizou um inventário hidrogeológico do Maranhão e, registrando na ocasião a presença de 11.702

pontos d'água, sendo 11.452 poços tubulares, 159 poços amazonas, 24 fontes naturais e 67 sem informações representativas (BATISTELA op cit.). Os poços tubulares representam 97,86% dos pontos cadastrados no estado e estão classificados em duas categorias: público (7.714 poços), quando estão em terrenos de servidão pública; e particulares (3.911 poços), quando estão em propriedades privadas e sem informação (77 poços).

Em relação a estes poços, um percentual significativo se encontra sobre terrenos sedimentares. Um total de 1.358 poços públicos estão desativados, enquanto 373 particulares encontram-se na mesma situação. São 6.790 m³/h de água, geralmente de boa qualidade, indisponível ao consumo humano.

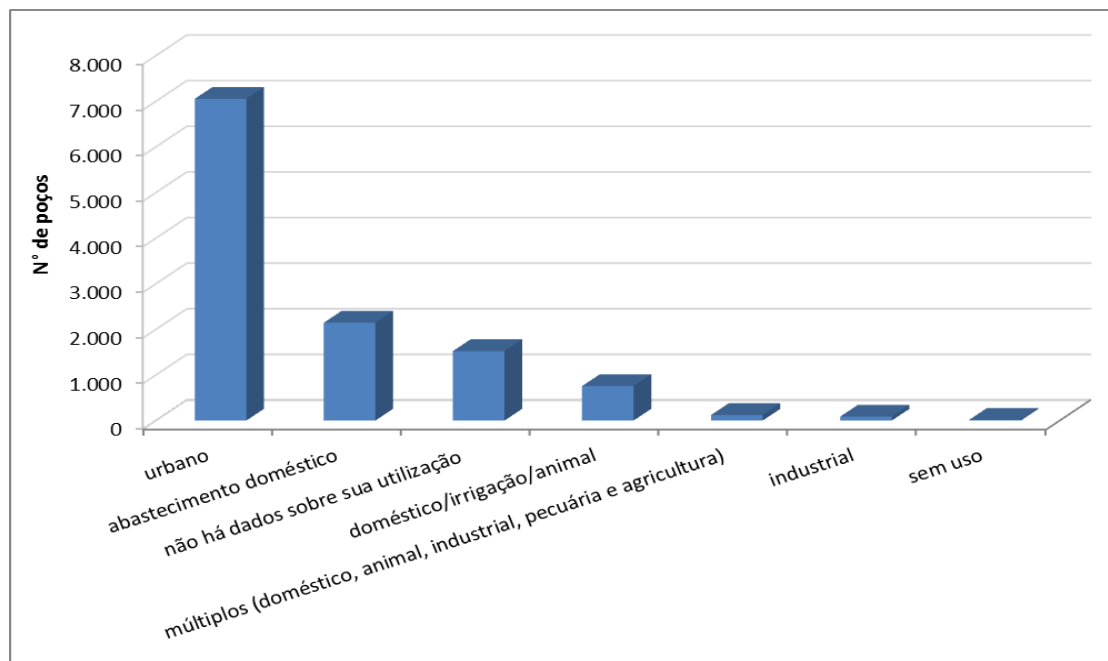
Figura 2-12. Mapa de unidades hidrogeológicas da região da área de estudo - Bacabeira-MA.



Fonte: Autor.

Em relação ao uso da água de poço no estado do Maranhãoa CPRM (2013), elenca algumas destinações (Figura 2-13). O uso urbano (7.053) e doméstico (2.145)aparecem em destaque. Outro destaque cabe também ao número de poços (1.523) sem dados sobre sua utilização.

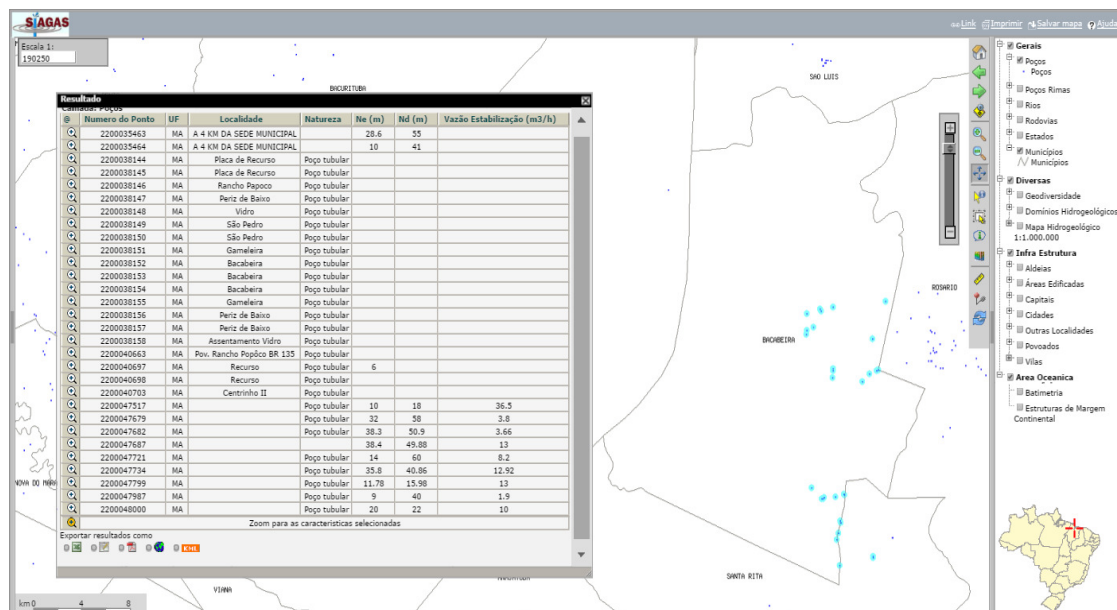
Figura 2-13. Quantitativo de poços registrados segundo seus usos.



Fonte: elaborado a partir de CPRM (2013)

A participação deste manancial no abastecimento público de 76,6% das cidades do Maranhão, o que corresponde a 85.106 m³/ano (COSTA, 2000). O território do município de Bacabeira-MA é atualmente abastecido por sistema integrado com captação em manancial misto superficial/subterrâneo (ANA, 2010). Neste município encontram-se registrados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas-SIAGAS (Figura 2-14) do Serviço Geológico do Brasil-CPRM, 30 (trinta) poços que superam uma vazão de 150m³/h.

Figura 2-14. Imagem de mapa de poços cadastrados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas-SIAGAS, em destaque informações existentes dos respectivos poços inseridos na área de estudo (Bacabeira-MA).



Fonte: Adaptado de SIAGAS/CPRM

Tendo como referência a classificação de Struckmeier e Margat (1995) de produtividade para captação de água no estado do Maranhão, Batistela et al. (2013) classificaram as unidades hidrogeológicas da região da área de estudo variando de pouco produtiva (devido ao Domínio Hidrogeológico de Depósitos de Pântanos e Mangues), a alta (pelo Domínio Hidrogeológico do Itapecuru).

Araujo et al. (2012) classificaram a vulnerabilidade dos lençóis aquíferos do estado do Maranhão à poluição em uma escala de 1:2.000.000 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**15). Os autores dividiram a vulnerabilidade em seis classes a saber:

- ✓ Extremo: aquíferos associados às Coberturas Cenozóicas; muito alto, aquíferos associados às Coberturas Cenozoicas, representados pelo Grupo Barreiras e Depósitos Detríticos e/ou Lateríticos;
- ✓ Alto: aquíferos fissurais descontínuos e de pouca importância regional, que ocorrem nas rochas ígneas e metamórficas;
- ✓ Moderado: aquíferos associados às bacias São Luís e Grajaú, formações Codó, Grajaú, Itapecuru, Urucua e aquífero Sardinha;
- ✓ Baixo: aquíferos associados às formações Sambaíba e Serra Grande;

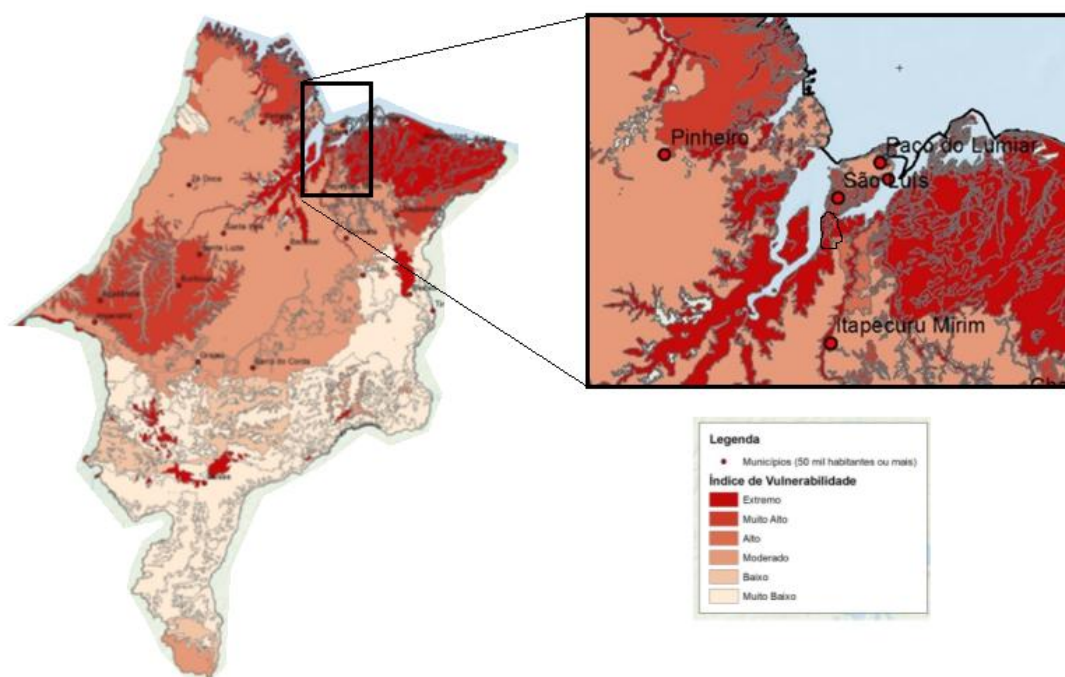
- ✓ Muito baixo ou nulo: aquíferos localizados no contexto geológico da Bacia do Parnaíba, associados às formações Corda, Mosquito, Pastos Bons, Poti-Piauí, Pedra de Fogo e aquífero Motuca.

A classificação da vulnerabilidade das águas subterrâneas no Maranhão, conforme Araújo et al (2012), indica que 12,3% apresentam extrema vulnerabilidade; 11,3% apresentam vulnerabilidade muito alta; 1,4% apresentam alta vulnerabilidade; 38,6% apresentam vulnerabilidade moderada; 5,5%, vulnerabilidade baixa; e 30,9%, vulnerabilidade muito baixa. Para CPRM (2013), isso significa que 36,4% apresentam máxima aptidão para a instalação de qualquer empreendimento, enquanto 38,6% apresentam sérias restrições à implantação de atividades antrópicas, sendo que 23,6% apresentam restrição absoluta.

Ainda sob esta classificação de Araújo et al (2012), os recursos hídricos subterrâneos na região de Bacabeira recebem às classificações de extremo (devido ao Domínio Hidrogeológico de Depósitos de Pântanos e Mangues - DHDPM), e moderado (pelo Domínio Hidrogeológico do Itapecuru - DHI).

Considerando a área do Estado do Maranhão, tais informações tornam-se relevantes nos aspectos das características e vulnerabilidade dos aquíferos inseridos no mesmo, entretanto para um melhor embasamento de ações e políticas públicas específicas, a escala adotada em estudos e projetos deve ser a menor possível, pois os detalhes dos dados/informações serão maiores e mais específicos, podendo assistir melhor os tomadores de decisão. Neste contexto, os dados/informações em escala temporal e espacial devem também ser alvo de pesquisa e observação detalhada, de forma que se busque além do conhecimento, uma melhor representatividade das características da área estudada associadas aos seus processos interativos.

Figura 2-15. Mapa da vulnerabilidade à poluição dos lençóis aquíferos do estado do Maranhão.



Fonte: Adaptado de Araújo et al.(2012)

2.2.5 Saúde e Saneamento Básico

O Programa de Saúde da Família – PSF vem procedendo a organização da prática assistencial em novas bases e critérios, a partir de seu ambiente físico e social, com procedimentos que facilitam a compreensão ampliada do processo saúde/doença e da necessidade de intervenções que vão além de práticas curativas (CPRM, 2011). Em Bacabeira, a relação entre profissionais da saúde e a população é 1/148 habitantes, segundo o IMESC (2010).

No município de Bacabeira 12 (doze) estabelecimentos subsidiam ações de saúde (

Quadro 2-7), destes, 10 unidades de saúde atendem de forma direta. Dois estabelecimentos atendem urgência e emergência: o Centro de Saúde Francisco Martins de Souza, em Peri de Baixo, e o Centro de Saúde Dr. Odomar Brito, na Sede do Município. Estas unidades também monitorizam doenças diarreicas e há oferta de teste rápido de HIV, hepatite B e C e sífilis (BION/PMSB-BAC, 2015).

Quadro 2-7. Estabelecimentos que subsidiam ações de saúde no município de Bacabeira.

CNES	NOME FANTASIA	NATUREZA JURÍDICA	GESTÃO	ATENDE SUS
7548702	SECRETARIA MUNICIPAL DE SAUDE DE BACABEIRA	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
2306670	DEPARTAMENTO DE VIGILANCIA SANITARIA E EPIDEMIOLOGICA	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
2390434	CENTRO DE SAUDE DR DOMAR BRITO ANCELES PSF	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
2306662	CENTRO DE SAUDE FRANCISCO MARTINS DE SOUSA PSF	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
2306654	PS DE SAUDE DR RAIMUNDO DINIZ C FILHOPSF	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
2306638	POSTO DE SAUDE PAULA BARBOSA DOS SANTOS OLIVEIRA	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
2306603	POSTO DE SAUDE IRENE ALMEIDA CAIRES PSF	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
2390426	POSTO DE SAUDE GESTRUDES LEOPOLDINA DECA	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
2306646	POSTO DE SAUDE FRANCISCA MARIA CANTANHEDE	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
9072160	POSTO DE SAUDE DO SAO CRISTOVAO	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
7503415	POSTO DE SAUDE DO ALTO SATUBA	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM
2306611	POSTO DE SAUDE GESTRUDES LEOPOLDINA DECA	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	M	SIM

Fonte: elaborado a partir de CNES/DATASUS

As doenças diarréicas agudas (DDA) se caracterizam por aumento do número de evacuações, com fezes aquosas ou de pouca consistência. Em alguns casos, há presença de muco e sangue. Pode ser acompanhada de náusea, vômito, febre e dor abdominal. No geral, é auto-limitada, com duração entre 2 a 14 dias e não confere imunidade duradoura. Os episódios de diarréia aguda, de uma maneira geral, podem ser divididos em dois grandes grupos: diarréia aquosa e diarréia sanguinolenta. A D. Aquosa é caracterizada pela perda de grande quantidade de água durante a evacuação, promovendo uma alteração na consistência das fezes. Pode estabelecer rapidamente um quadro de desidratação, já a D. Sanguinolenta (disenteria) é caracterizada pela

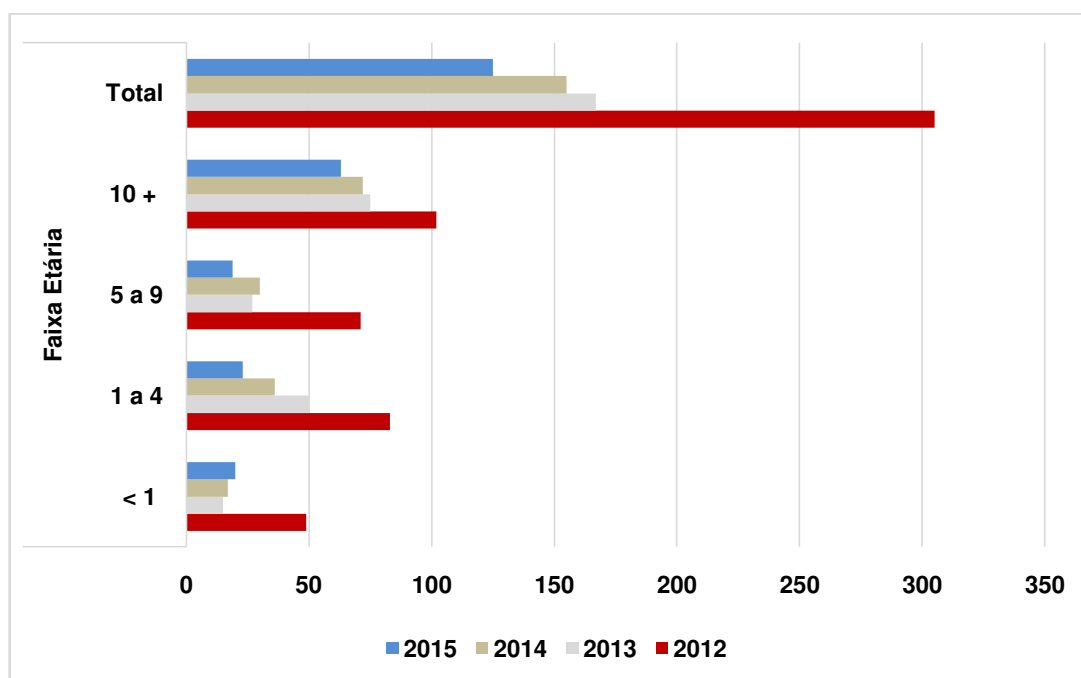
presença de sangue nas fezes, podendo haver presença de muco e pus. Sugere inflamação ou infecção do intestino (PORTAL SAÚDE-MS).

Em virtude da sua elevada frequência, a DDA não é doença de notificação compulsória nacional em se tratando de casos isolados. A notificação dos casos deve ser feita somente pelas unidades sentinelas que tiverem implantada a Monitorização das Doenças Diarreicas Agudas (MDDA). A notificação deve ser feita por meio de formulários e a secretaria municipal de saúde e/ou regional de saúde devem registrar o caso diretamente no Sistema Informatizado de Vigilância Epidemiológica das DDA, o Sivep-DDA (PORTAL SAÚDE-MS).

Nos casos da notificação de surtos de DDA, incluindo rotavírus, é compulsória e imediata. Esse é caracterizado como “a ocorrência de casos ou óbitos de doença de origem desconhecida ou alteração no padrão epidemiológico de doença, independentemente de constar na Lista Nacional de Doenças e Agravos de Notificação Compulsória”. A notificação do surto deve ser feita no Sinan NET e indicado como síndrome diarreica. Os dados decorrentes da investigação do surto também devem ser inseridos nesse sistema (PORTAL SAÚDE-MS).

O município de Bacabeira através da Secretaria Municipal de Saúde informa ao SIVEP/MDDA os casos registrados no território do município. Em consulta ao SIVEP, desde o ano de 2012, há uma redução dos registros de DDA's no município (Figura 2-16). Observando os registros por faixa etária, o destaque segue para crianças de 1 a 4 anos e indivíduos com mais de 10 anos com os maiores valores representados.

Figura 2-16. Distribuição de casos registrados de DDA's por faixa etária no período de 2012 a 2015 no município de Bacabeira-MA



Fonte: elaborado a partir de SIVEP/MDDA - Secretaria Municipal de BACABEIRA/MA

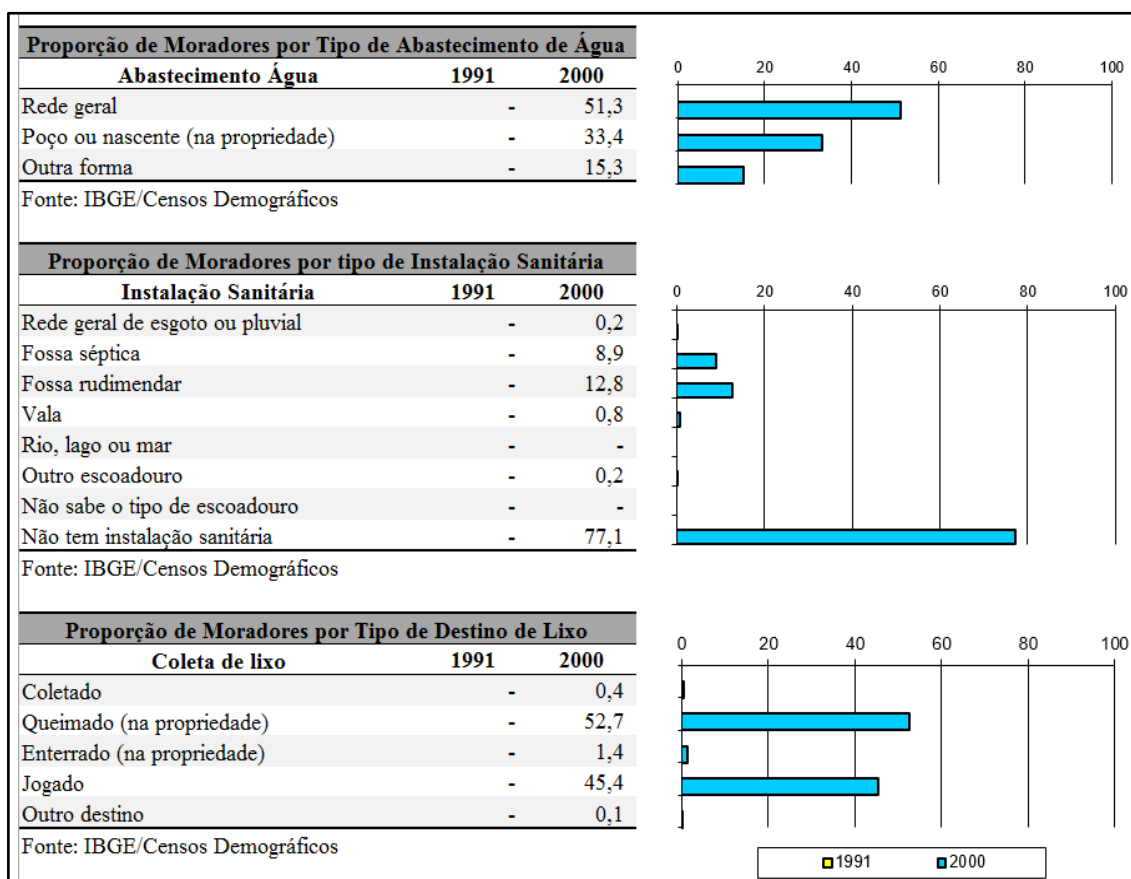
O cenário do saneamento básico bacabeirense ainda é considerado de baixa qualidade, caracterizado pela falta de esgotamento sanitário, bem como coleta e armazenamento de resíduos ainda realizados de forma rudimentar. O abastecimento de água na zona urbana ocorre em função do Sistema Italuís, ao qual se faz pela captação em manancial superficial no rio Itapecuru, e com a distribuição realizada pelo município através do Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE, atendendo aproximadamente 5.375 pessoas com 1.139 ligações através de uma central de abastecimento de água (CPRM, 2011), e em alguns povoados distantes da sede o abastecimento é realizado através de poços tubulares e carros pipa.

Somente a partir do ano de 2000, o IBGE publica informações a respeito do saneamento municipal (Figura 2-17), comprovando a ausência da gestão para com a situação.

Levantamentos realizados pelo IBGE, em 2010, no município Bacabeira, registrou que 13,23% dos domicílios particulares permanentes não possuíam banheiro ou sanitário e dos demais domicílios que possuíam, somente 0,79% dispunham de rede geral de esgoto sanitário, valor bem abaixo

da média do estado que é de 11,65%, enquanto que 35,20% faziam uso de fossas sépticas e 64,12% utilizavam algum outro tipo de esgotamento sanitário. Estes índices caracterizam uma relação direta com a insalubridade do ambiente e seus recursos relacionados, como a água subterrânea e à saúde das populações.

Figura 2-17. Imagem de quadros e gráficos retratando o cenário do saneamento municipal de até o ano de 2000 em Bacabeira-MA.



Fonte: elaborado a partir de IBGE (2010).

Quantitativamente, a oferta da água através de rede geral de distribuição ocorre em 66,83% dos domicílios particulares permanentes do município de Bacabeira, enquanto que 2,65% são abastecidos por poço ou nascente na propriedade e 30,52% são abastecidos de alguma outra forma (IBGE, 2010). No Quadro 2-8, segue a descrição das comunidades/vilas que recebem o abastecimento público provenientes de manancial subterrâneo.

Quadro 2-8. Comunidade/vilas que são abastecidas através de água de poços.

LOCALIDADE DO POÇO	PROFUNDIDADE DO POÇO	VAZÃO ESTIM. (m³/h)	TIPO DE RESERVATÓRIO	VOLUME DO RESERVATÓRIO (m³)
Videl	123	50	Concreto	35m³
Assentamento	104	6	Fibra	15m³
Malhadinha	100	4,5	Fibra	11m³
Rancho Papouco	112	-	Fibra	15m³
Pataqueira	94	1,8	Fibra	15m³
Ramal do Aboud	100	0,8	Sem Reservatório.	
Ramal do Aboud	100	3,8	Fibra	15m³
Ramal do Aboud	100	3,8	Fibra	15m³
Placa de Recurso	70	3,6	Fibra	11m³
Centrinho II	100	4	Fibra	15m³

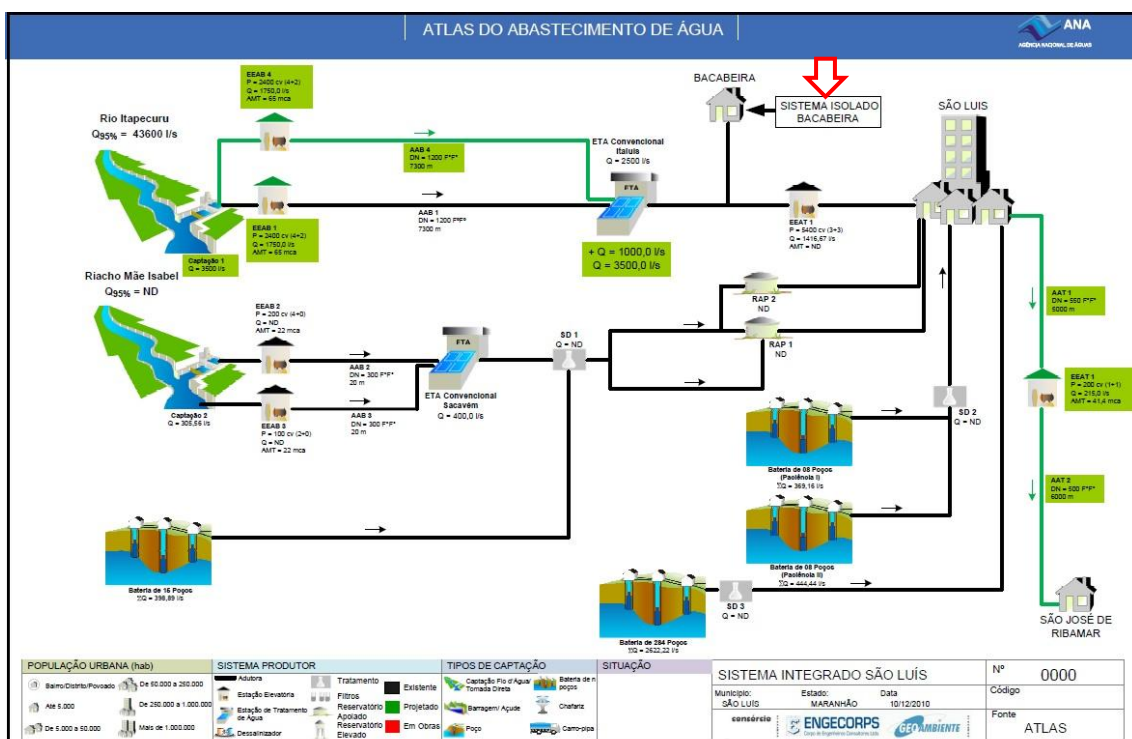
Fonte: Adaptado de BION/PMSB-BAC(2015).

Atualmente, há um setor em Periz de Baixo, nas proximidades da Rua do Sol que é abastecido por um poço da CAEMA. O poço apresenta profundidade de aproximadamente 100m e vazão média de 4,2m³/h. Segundo o relatório preliminar da BION/PMSB-BAC (2015), o controle de qualidade é feito pela Gerência de Itapecuru da CAEMA, a cada 3 meses.

Conforme ANA (2010), a participação no abastecimento do município de Bacabeira pelo sistema isolado (poços) de abastecimento é de 50% e considerada até o ano de 2015 como satisfatória, e que, em sua estruturação a água ainda recebe tratamento conforme podemos observar em croqui (Figura 2-18) do respectivo sistema. Fato este que, em nenhuma das localidades no município que recebem o abastecimento deste tipo de manancial ocorre.

Ainda a Agência, Bacabeira necessitará de R\$ 54 Milhões até o ano de 2025 para investir em ampliação do sistema estruturando-o conforme croqui proposto (Figura 2-19).

Figura 2-19. Proposta de croqui para o futuro sistema de abastecimento de água no município de Bacaberia-MA.



Ressalta-se que, ao longo dos últimos 10 anos, vem ocorrendo a migração gradativa do abastecimento de água através de poços para rede de distribuição geral abastecida pelo Sistema Italuís (captação em manancial

superficial – rio Itapecuru). No ano de 2011 a CAEMA desativou o poço de Pequi e de Santa Quitéria (localizado na Av. Brasil). Já em 2012 desativou o poço da Rua da Gemasa (junto à estrada de Ferro e a estrada de acesso às mineradoras), e ano de 2014 a CAEMA desativou o poço da Av. Deodoro Costa Ribeiro em Periz de Baixo (BION/PMSB-BAC, 2015).

Na zona urbana, a rede de distribuição passa por processo de ampliação, realizada pela concessionária estadual (Companhia de Água e Esgoto do Maranhão-CAEMA), ainda apresentando interrupção, perdas e ausências em algumas áreas.

Quanto a destinação do lixo, houve um significativo avanço no registro da coleta do mesmo, onde em 2000 registrava-se 0,4% apenas, e em 2010 o registro passou a ser de 51,96% dos domicílios com lixo coletado. Sendo que deste total, 81,26% são coletados diretamente por serviços de limpeza, enquanto que 18,74% são coletados por caçamba de serviço de limpeza (IBGE, 2010).

De todo modo, muitos municípios já consideram grande evolução a rede de distribuição de água no atual cenário do abastecimento público. Outro aspecto positivo a ser ressaltado é a atual discussão do Plano Municipal de Saneamento Básico de Bacabeira, que se encontra em fase de construção envolvendo inclusive o processo participativo popular.

RESULTADOS

3. ARTIGO 1. PROPOSIÇÃO DE MODELO ESPACIAL DE VULNERABILIDADE A CONTAMINAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DESTINADO AO CONSUMO: ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE BACABEIRA-MA, BRASIL

RESUMO

Este artigo objetivou o delineamento de um modelo espacial de vulnerabilidade de contaminação de água subterrânea destinado ao consumo humano, a partir de dados estruturados em um Sistema de Informação Geográfica. Para a aplicação desta modelagem selecionou-se o município de Bacabeira por ser susceptível à fatores de ameaça como: inserida em zona costeira, exercer atividades de mineração, e recentemente ter criado um distrito industrial na área de insucesso de implantação de uma refinaria de petróleo e gás. Após revisão dos principais métodos existentes e dados espaciais disponíveis, propõe-se como modelo, o Mapeamento de Vulnerabilidade utilizando como base o Método GODD, adaptado a partir da inserção do parâmetro Declividade (D), aos de Confinamento (G), Ocorrência (O) e Distância (D). Três etapas de processamento foram realizadas no SIG. O produto final consistiu de um mapa resultante da álgebra destes parâmetros reclassificados em índices, onde 70% e 30% dos poços estão locados em aquíferos em situações de média e alta vulnerabilidade respectivamente.

Palavras-chave: geotecnologias, declividade, saúde das populações, mapeamento.

ABSTRACT

This article aimed at the design of a spatial model of vulnerability of groundwater contamination destined to human consumption structured in a Geographic Information System. For the application of this model the municipality of Bacabeira was selected because it is susceptible to threat factors such as: inserted in the coastal zone, to carry out mining activities, and recently to create an industrial district in the area of failure of implantation of an oil refinery and gas. After reviewing the main existing methods and available spatial data, it is proposed as a model the Vulnerability Mapping using as basis the GODD Method, adapted from the insertion of the parameter Declivity (D), to the Confinement (G), Occurrence (O) And Distance (D). Three processing steps were performed in the GIS. The final product consisted of a map resulting from the algebra of these parameters reclassified into indices, where 70% and 30% of the wells are located in aquifers in medium and high vulnerability situations, respectively.

Keywords: geotechnology, declivity, population health, mapping.

45 **Introdução**

46 A modelagem consiste em decompor o mundo real em uma série de
47 sistemas simplificados para alcançar uma visão sobre as características
48 essenciais de certo domínio, podendo ter sua representação realizada através
49 de vários tipos de linguagem, quer seja matemática, lógica, gráfica ou física,
50 sintetizando-o em um modelo reduzido (SOARES FILHO, 2000).

51 Nesta linha, George (1971) descreve que o mapa pode ser visto como
52 um modelo analógico, onde as feições do mundo real são representadas por
53 uma linguagem simbólica do tipo gráfica. Por mais, Hagget (1972) ressalta que
54 o mapa constitui um modelo simbólico, onde os fenômenos do mundo real são
55 representados por expressões matemáticas abstratas, sendo o ponto de
56 contato de uma abordagem quantitativa e uma ferramenta analítica, ajudando o
57 pesquisador a ver o mundo real sob uma nova luz.

58 Esta ferramenta possui a capacidade de auxiliar a tomada de decisão
59 sobre os recursos ambientais, dentre eles, as água subterrâneas. Os aquíferos,
60 em função de suas características naturais, podem apresentar diferentes
61 níveis de vulnerabilidade e risco à poluição, o que passou a despertar
62 preocupações no meio técnico-científico e na sociedade em geral, uma vez que
63 este recurso vem sendo amplamente utilizado para o abastecimento público e
64 em atividades econômicas (OLIVEIRA; FRANÇA-ROCHA, 2010).

65 A participação no abastecimento público no município de Bacabeira
66 realizado pelo sistema isolado (poços), conforme ANA (2010) é de 50%, e
67 considerada até o ano de 2015 como satisfatório, necessitando a partir daí, R\$
68 54 Milhões de reais até o ano de 2025 para investir em ampliação do sistema.

69 Contudo, estratégias de políticas públicas como; monitoramento,
70 otimização de modelagens e mapeamentos de vulnerabilidade à contaminação
71 são necessidades focadas na preservação da qualidade da água,
72 principalmente porque está relacionada com a saúde humana.

73 Neste contexto, o presente artigo propõe o delineamento de um modelo
74 espacial de vulnerabilidade de contaminação de água subterrânea em
75 ambiente SIG, possibilitando a utilização desta estrutura de modelo como uma
76 ferramenta de gestão para a tomada de decisão e na formulação de políticas

públicas na área de saúde e ambiente, com potencial de reprodução em outras áreas de interesse, especialmente em análises de tendências de agravamento de conflitos.

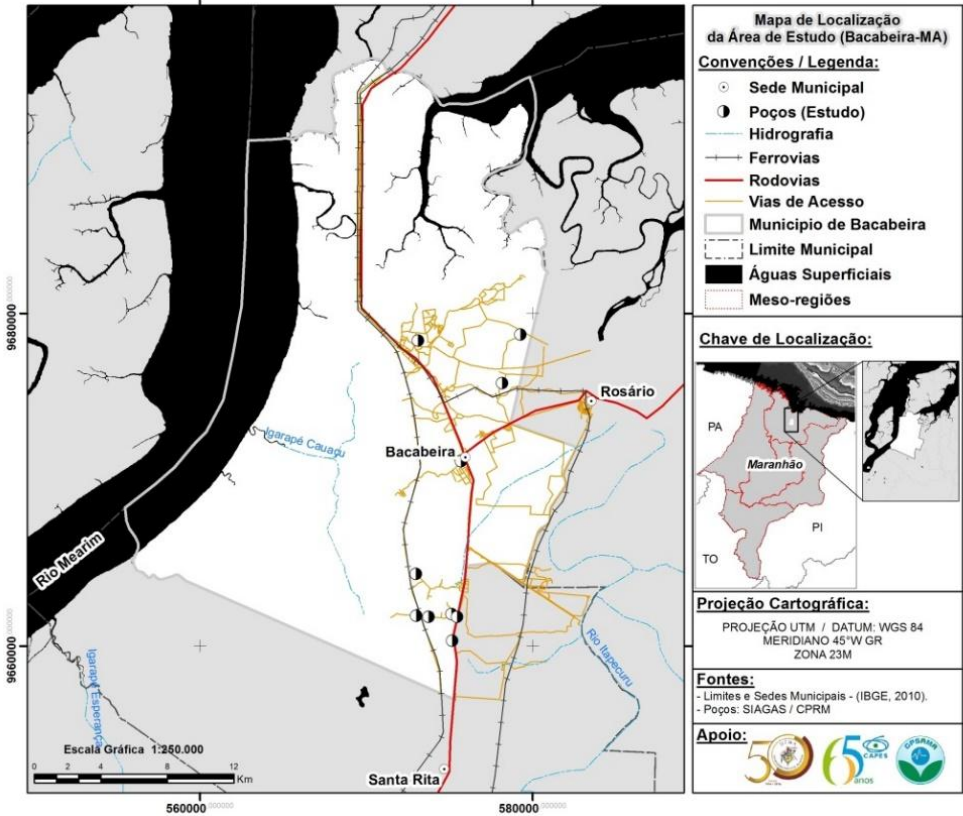
Material e Métodos

Caracterização da Área de Estudo

O município de Bacabeira está localizado na Mesorregião Norte-Maranhense e Zona Costeira (Figura 3-1), entre as coordenadas UTM 562100/9696367 e 586280/9655693 ecom uma área geográfica de 531,02 km². Possuía uma população em 2010 de 14.925 habitantes e com uma estimativa populacional para 2015 de 16.553 habitantes (IBGE, 2010).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) referente ao ano de 2010 foi de 0,629 (IBGE, 2010). Sua economia gira em torno da agropecuária, serviços e indústria, com possibilidades de mudanças decorrentes de obras do setor de logística (infraestrutura de modal rodoviária, ferroviária e portuária).

Figura 3-1. Mapa de localização da área de estudo, município de Bacabeira-MA.



Fonte: Autor

Bacabeira está localizada na Zona Tropical Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, semi-úmido 4 a 5 meses secos (EMBRAPA, 2010). Para a região, a estação chuvosa é de janeiro a julho, com os maiores índices pluviométricos em março a maio variando em uma média mensal de 318mm a 445 mm respectivamente com pico em abril. Tais informações tornam-se relevantes nos aspectos da vulnerabilidade dos aquíferos a partir do momento que, naturalmente a suscetibilidade do mesmo acompanha esta dinâmica pluviométrica pela característica intrínseca do ciclo hidrológico através da recarga hídrica pela infiltração da água no solo.

Bacabeira situa-se sobre o alto estrutural denominado Horst de Rosário representado por granitoides pertencentes à Suíte Intrusiva Rosário ao longo do Arco Estrutural Ferrer-Rosário-Bacabal, formada por rochas magmáticas relacionadas ao magmatismo orogênico – pré-colisional do período Riachão e por sedimentos da era Mesozoica ao Quaternário. O magmatismo orogênico na Bacia do Parnaíba resultou na formação dos granitoides da Suíte Intrusiva Rosário e no processo de sedimentação no Cretáceo com os sedimentos da Formação Itapecuru, Formação Terciário-Paleogeno, Formação Barreiras e, finalmente, pelos sedimentos recentes Quaternários representados pelos depósitos flúvio-lagunares e de mangues (FSADU, 2013).

Quanto às unidades hidrogeológicas, em Bacabeira encontram-se os Depósitos de Pântanos e Mangues, Depósitos Aluvionares, Depósitos Flúvio-Marinheiros, Tromaí e Itapecuru (CPRM, 2013). Quanto a este último, é o que se apresenta como de melhor aproveitamento para captação de água subterrânea por conta de camadas arenosas em profundidades que variam em cerca de 70 a 170 m, e espessura total variando entre 30 e 40 m (FSADU, 2013).

Bacabeira apresenta relevo com baixas altitudes e importantes compartimentos ambientais (planícies de inundação, manguezais e remanescente de vegetação secundária). Em contraste a este cenário, apresenta uma urbanização não planejada em processo constante de crescimento, atividades de mineração (brita e argila), vias de intenso transporte ferroviário (Carajás) e rodoviário (BR-135 e BR-420), zonas de passagens de redes elétricas de baixa, média e alta tensão e grandes dutos de distribuição de água para abastecimento, enfim, uma área sob constante pressão ambiental.

Procedimento Metodológico

O procedimento adotado para a proposição do Modelo compreendeu a busca de dados/parâmetros disponíveis à aplicação de rotinas em SIG para determinar a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos conforme os principais métodos existentes e frequentemente citados na literatura.

Deste modo, tomou-se como referência à vulnerabilidade de aquíferos à poluição/contaminação conceituada por Foster e Hirata (1988), ao qual significa sua maior ou menor susceptibilidade de ser afetado por uma carga poluente imposta.

Posteriormente, foi elaborado dentro de um Sistema de Informação Geográfico *ArcGIS 10.2* (ERSI, 2013), para esta modelagem espacial de vulnerabilidade das águas subterrâneas, a estruturação de um banco de dados sob um mesmo sistema de referência (WGS 84) e projeção espacial (UTM Zona 23S) capaz de armazenar, processar e tornar disponíveis todos os dados referentes à área de estudo.

Processamentos/rotinas como: identificação/consulta, sobreposição, projeção/reprojeção, classificação/reclassificação, processamento digital de imagem, vetorização, cálculo de áreas, interpolação e álgebra de mapas foram executadas pela ferramenta “*Model Builder*” do respectivo SIG.

Os bancos de dados espaciais consultados, conforme Quadro 3-1, foram extraídos dos sítios eletrônicos de seus respectivos órgãos responsáveis.

Quadro 3-1. Banco de dados consultados e trabalhados em ambiente SIG.

Database	Dados	Escala	Fonte
Geobank – Geodiversidade Estadual - MA	Geologia, Hidrologia, Solos, Relevo, Hipsometria e outros.	1 : 750.000	Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2013).
MacroZEE – MA ZEE – MA	Climatológicos Altimetria	1 : 1.000.000 1: 100.000	EMBRAPA (2012) MARANHÃO (2001)
IBGE	Localidades, Sedes e Limites Municipais, Setores Censitários e População/Censo.	Pontual / 1 : 250.000	Sítio Eletrônico - IBGE (2010)
INDE	Hidrogeoquímica, Qualidade de água	1 : 750.000 1 : 1.000.000	Sítio Eletrônico - Instituto Nacional de Dados Espaciais
Sistema de	Localização e	Pontual	Sítio eletrônico –

Database	Dados	Escala	Fonte
Informação das Águas Subterrâneas – SIAGAS	características de poços		SIAGAS / CPRM
Base Imagery	Imagens SR de alta e média resolução espacial	2,5 metros 15 e 30 metros	USGS / INPE / Módulo BaseMap/ArcGIS
SRTM Imagery	Modelo digital de Elevação	30 metros	Earth Explorer / USGS

Fonte: elaborado pelos Autores.

Também foram realizadas edições das tabelas de atributos dos arquivos vetoriais inserindo os valores referentes aos intervalos de classes identificados conforme parâmetros trabalhados em método proposto, além da confirmação da localização dos poços cadastrados e importados pelo banco de dados do SIAGAS/CPRM através dos dados também coletados e importados de aparelho Global Position System – GPS.

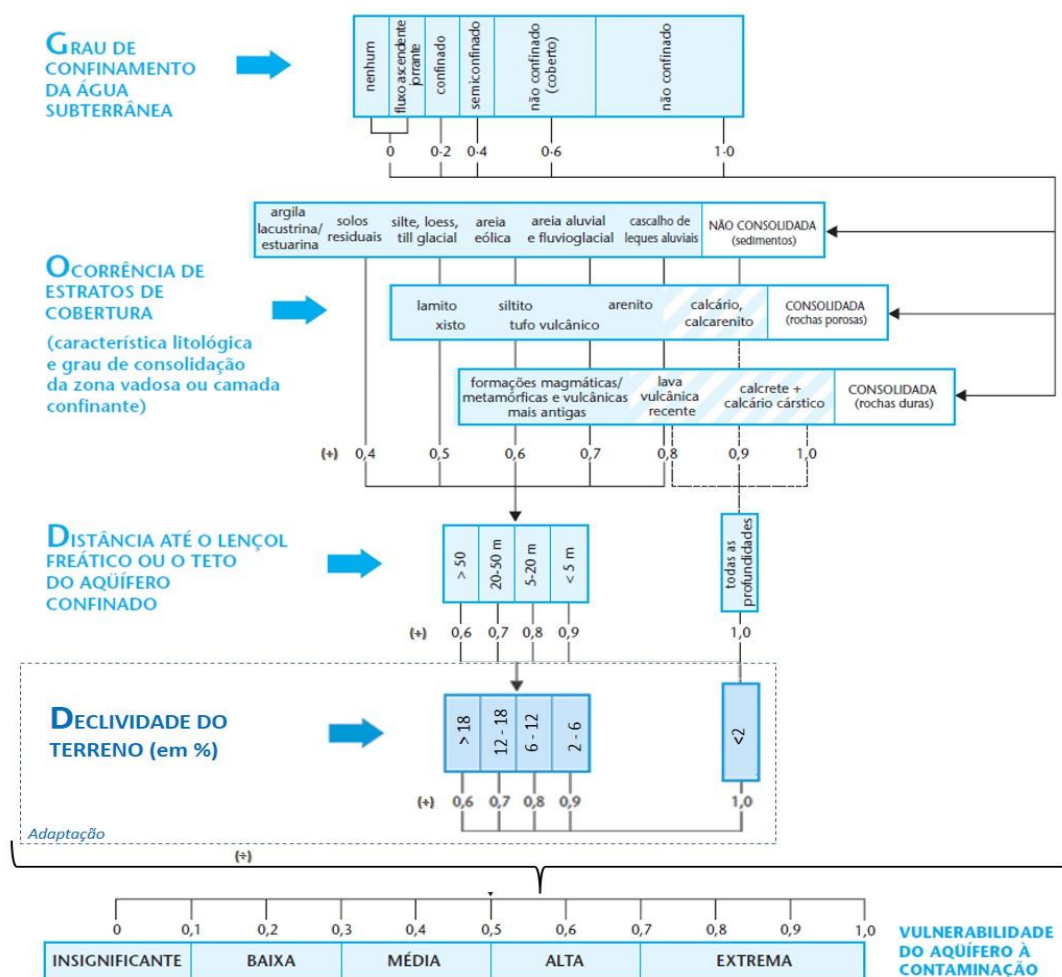
Resultados e Discussão

O método selecionado para integrar a base de análise desta modelagem espacial foi o Sistema GOD (Foster, 1987) com uma adaptação através da inserção do parâmetro Declividade (Figura 3-2). Assim, como em Gomes et al. (2004), este método de base é utilizado devido à relativa facilidade de obtenção das variáveis consideradas e conforme Barbosa et al. (2011), vem sendo utilizado atualmente com maior frequência no Brasil.

Oliveira e França-Rocha (2010), também realizaram proposta de modelagem da vulnerabilidade e risco à poluição dos recursos hídricos subterrâneos na sub-bacia do Alto Paraguaçu-BA realizando operações em SIG. Mais, estes autores, utilizaram como método base, o DRASTIC e plano de informação/variáveis referentes às unidades litológicas, densidade hidrográfica, distribuição pluviométrica, fator de vegetação, densidade de lineamento, declividade, superfície potenciométrica e uso agrícola.

177
178

Figura 3-2. Sistema GOD com adaptação (inserção do parâmetro Declividade) para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.



Fonte: Adaptado de Foster, 1987.

179
180

181

182 O método adaptado consiste na avaliação de três
183 fatores/variáveis hidrogeológicas - grau de confinamento da água subterrânea
184 (G); ocorrência de estratos de cobertura (O); e distância até o nível freático da
185 água subterrânea (D) e um fator topográfico – declividade (*D*). Este último,
186 condiciona o escoamento e/ou infiltração do poluente/contaminante no solo, o
187 que para Aller et al. (1987), ao considerar o mesmo material geológico, locais
188 com baixo declive são mais vulneráveis devido ao maior potencial de
189 infiltração. Já locais com elevado declive mostram maior potencial de
190 escoamento associados a valores baixos de vulnerabilidade.

191 O Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos estipulou
192 intervalos que indicam que solos em locais de 0 a 2% de declividade estão
193 associados a maior oportunidade para o poluente infiltrar, uma vez que nessas

áreas o escoamento é baixo ou nulo. Por outro lado, declividades superiores a 18% tornam os solos menos sujeitos à infiltração, porque justamente designam locais suscetíveis a erosão e baixa infiltração.

Também adaptada, a operação de base do cálculo matemático da equação do método de classificação da vulnerabilidade foi à média aritmética, conforme podemos observar na seguinte equação 1:

$$\text{VECAS} = G + O + D + D / 4 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

G – Grau de Confinamento da Água Subterrânea

O – Ocorrência de Estratos de Cobertura

D – Distância até o Lençol Freático ou teto do Aquífero Confinado

D – Declividade

Após adaptações e agora denominado método GODD, o modelo de análise da vulnerabilidade foi delineado e dividido em três fases principais (Figura 3-3). Na primeira fase trabalhou-se a reunião de todos os dados e informações (dados cadastrais, mapas, vetores, raster's e etc.) referentes a área de estudo com sobreposição de referência e projeção espacial, na ocasião em que havia divergência entre os mesmos aplicava-se a ferramenta “*Define Projection*” da caixa de ferramentas do SIG “*ArcToolBox/Data Management Tools/Projection and Transformation*” para que se igualassem o Datum e Projeção (WGS 84 – UTM 23S).

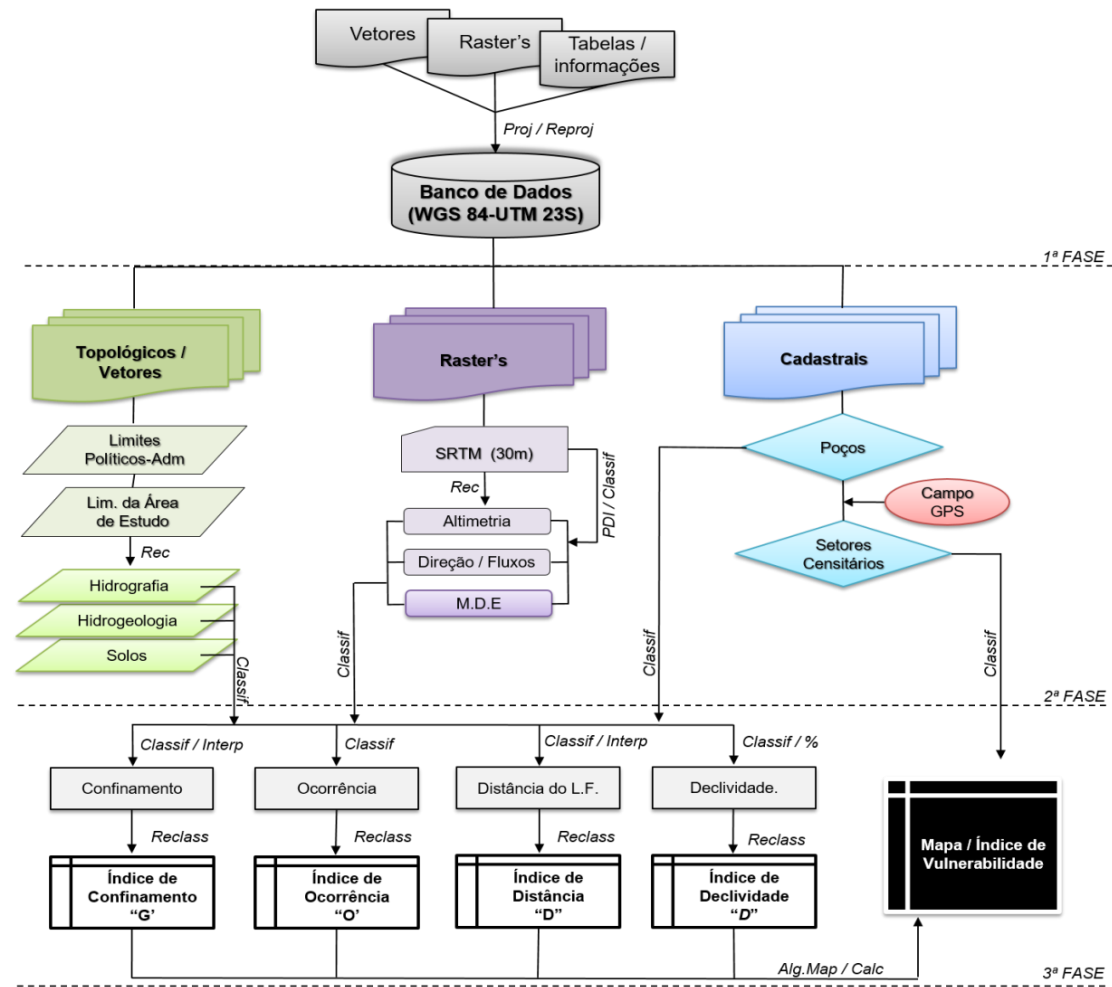
Na segunda fase os dados foram divididos em topológicos/cartográficos, processamento digital de imagem (PDI) e cadastrais. Nesta fase foram executadas rotinas de recorte através da ferramenta “*Analysis Tools/Extract/Clip*” tomando como base os limites da área de estudo, pois a redução no tamanho dos arquivos (vetores e raster's) trabalhados acarretou também numa diminuição do volume e tempo de processamento no SIG.

Ainda nesta etapa, o PDI do radar da Shuttle Radar Topography Mission-SRTM 2000 (cenas s03_w045_1arc_v3.tif e s04_w045_1arc_v3.tif) foram realizadas sobre a banda X de 1 arco-segundo (~30 metros) disponibilizados em sítio eletrônico da *United States Geological Survey-USGS*.

Foram aplicadas as ferramentas “Spatial Analysis Tools/Hydrology/Fill” para correção de imperfeições do relevo, a ferramenta “Spatial Analysis Tools/Contour – para extração de curvas de nível e a ferramenta “Spatial Analysis Tools/Surface/Slope” para geração de classes de declividade em percentagem.

Já na terceira fase, conforme podemos observar (Figura 4), os primeiros dados resultantes classificados (Confinamento, Ocorrência Distância e Declividade) foram reclassificados em índices através da ferramenta “Spatial Analysis Tools/Reclass/Reclassify”, que em seguida conforme aplicação da álgebra proposta e através da ferramenta “Spatial Analysis Tools/Map Algebra/Raster Calculator”, obtivemos o mapa resultante da vulnerabilidade (Figura 5) com os respectivos em índices de vulnerabilidade especializados no território do município de Bacabeira.

Figura 3-3. Fluxograma das etapas do modelo espacial de análise de vulnerabilidade de água subterrânea à contaminação.



244 Proj / Reproj = Projeção e Reprojeção; Rec = Recorte; PDI = Processamento Digital de
245 Imagem; Classif = Classificação; Reclass = Reclassificação; Alg.Map = Álgebra de
246 Mapa; Calc = Calculadora; IDW = Inverse Distance Weight

247 No mapa de vulnerabilidade da água subterrânea à contaminação
248 resultante deste modelo (Figura 3-4) podemos observar que as áreas
249 representadas pelos respectivos índices calculados (Quadro 3-2), ocorreu uma
250 distribuição espacial destas áreas em função das características do solo/relevo
251 (Ocorrência e Declividade) e dos poços (Grau de confinamento e Distância do
252 lençol freático).

253 Em visita de campo para coleta de localização de poços com GPS, foi
254 comentado por moradores que, a atual localização e distribuição dos poços
255 destinados ao abastecimento humano destas comunidades no município de
256 Bacabeira historicamente ocorreram em função de áreas em que o poço não
257 apresentava “cheiro e gosto de ferro e sal, mais que ainda assim, isto era difícil
258 de ocorrer”.

259 Este fato corrobora com descrição geológica das rochas granitoides
260 representadas pela Suíte Intrusiva Rosário presentes na região realizada por
261 Veiga Jr. (2000), onde a mesma, conforme seu material constituinte possui
262 presença de minerais máficos (ricos em ferro), e tendo sua origem relacionada
263 a depósitos orgânicos, detritos de plantas, podendo apresentar a cor
264 amarelada à água (CPRM, 1997). Conforme Richter e Neto (1991), no Brasil
265 são comuns águas com altos teores de ferro, particularmente aquelas captadas
266 em terrenos antigos e aluviões.

267 Por tal, mesmo que de forma empírica, este fato possibilita previamente
268 a validação do modelo (mapa resultante) proposto.

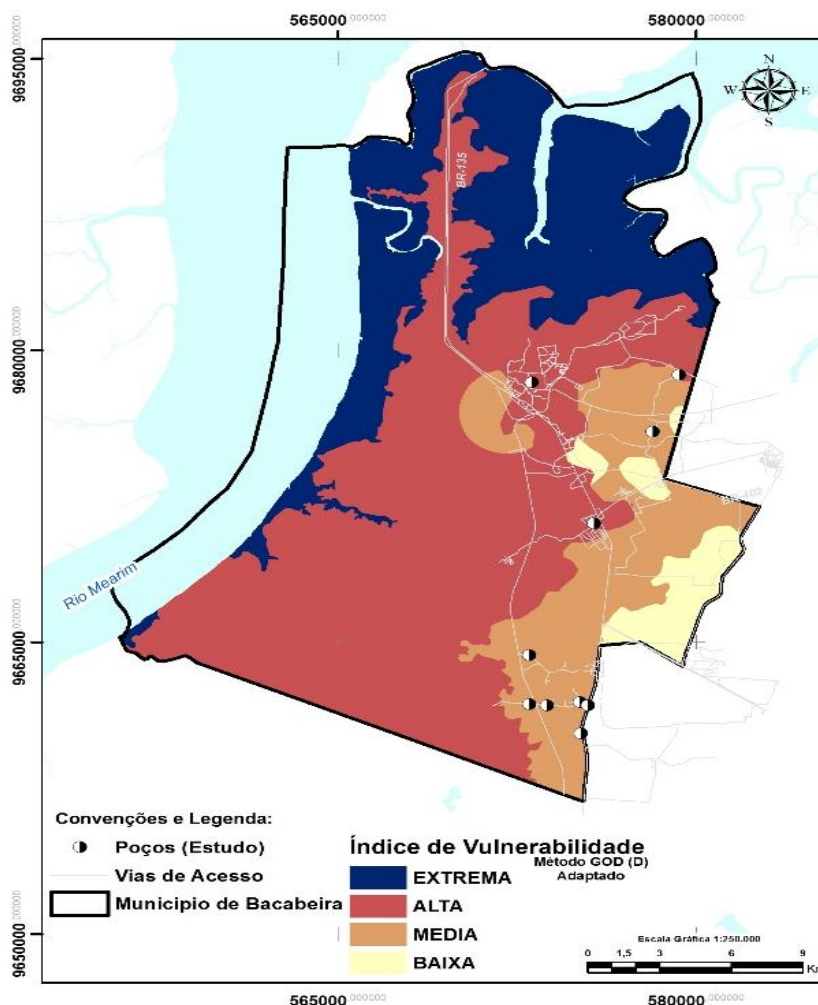
269 Quadro 3-2. Localização e Índice GODD dos poços destinados ao consumo humano
270 em Bacabeira-MA.

POÇO	LOCALIDADE	LONG	LAT	SITUAÇÃO	ÍNDICE GODD
1	Rua do Sol-Periz de Baixo	573104	9678349	Ativo	0,60 – Alta
2	Assentamento	579261	9678726	Ativo	0,67 – Alta
3	Videl	578167	9675804	Ativo	0,62 – Média
4	Ramal do Aboud 3	573009	9661813	Ativo	0,67 – Média
5	Ramal do Aboud 2	573747	9661750	Ativo	0,67 – Média
6	Ramal do Aboud 1	575111	9661909	Ativo	0,47 – Média
7	Rancho Papouco	575450	9661740	Ativo	0,47 – Média
8	Placa de Recurso	575155	9660303	Ativo	0,50 – Média
9	Malhadinha	572993	9664323	Ativo	0,50 – Média

10	Centro	575702	9671094	Ativo	0,60 – Alta
----	--------	--------	---------	-------	-------------

Fonte. Autor

Figura 3-4. Mapa de Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Bacabeira-MA.



Fonte: Autor

Considerações Finais

Este modelo espacial de vulnerabilidade à contaminação segue como uma proposta metodológica visando subsidiar a identificação de poços/aquíferos vulneráveis à contaminação pelas características/parâmetro Declividade (*D*), Confinamento (*G*), Ocorrência (*O*) e Distância (*D*), auxiliando também na compreensão de que o ambiente e sua transformação é um fator determinante de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos e consequentemente à saúde humana através de seu consumo.

Para atingir esses propósitos, os cuidados com escalas espacial e temporal dos dados que alimentarão o modelo devem ser tomados, para que a real representatividade dos mesmos não comprometa o resultado final (mapa).

Quanto às informações dos bancos de dados espaciais utilizados, como a do SIAGAS/CPRM principalmente, atendem pesquisas espaciais desta natureza de maneira dinâmica, ressaltando sempre a importância de refinamentos e atualizações.

A realização de análises físico-químicas das águas dos poços e aplicação comparativa de outros modelos com métodos de base diferentes, como o trabalhado por Oliveira e França-Rocha (2010), seguem como um próximo passo para a consolidação de sua validação.

Referências

- BATISTELLA, M.; BOLFE, E. L.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; ARAÚJO, L. S. (2003). Relatório do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão. Campinas, SP. Embrapa, (Org.) 324 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite / Relatório Técnico, v. 2).
- BARBOSA, M.C.; CARVALHO, A.M.; IKEMATSU, P.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; CAVANI, A.C.M. Avaliação do perigo de contaminação do sistema aquífero guarani em sua área de afloramento do estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Águas Subterrâneas, v.25, n.1, p.1-14, 2011.
- BERRY, J. K. (1993). Cartographic modeling: the analytical capabilities of GIS. In: Goodchild, M; Parks, B. O.; Steyaert, L. T. Environmental modelling with GIS, New York, Oxford University Press, 488p.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. (2010). Censo Demográfico 2010 – Características Gerais da População. Resultados da Amostra. IBGE, 2003. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/default_populacao.shtm. Acessado em 02/04/2016.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. (2015). Catálogo de Imagens. <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acessado em 01/03/2016.
- BRASIL. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE. Catálogo de Metadados. <http://www.inde.gov.br/geo-servicos/catalogo-de-metadados>. Acessado em 02/03/2016.
- CPRM. Ministério de Minas e Energia. Geodiversidade do Estado do Maranhão. Teresina, Piauí. 2013.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI, Inc. ArcGIS Professional GIS for the desktop, version 10.2. Software. 2013.

323 FOSTER, S. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk
 324 and protection strategy. Proceedings of International Conference: Vulnerability
 325 of Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk. Países Baixos.

326 FOSTER, S.S.D. e HIRATA, R.C. 1988. "Groundwater pollution risk
 327 assessment: a methodology using available data." WHOPAHO/HPE-CEPIS
 328 Technical Manual. Lima, Peru.

329 FUNDAÇÃO SOUSÂNDRADE-FSADU. (2013). Estudo de Impacto Ambiental
 330 (EIA) Terminal Aquaviário do Itaqui e Faixa de Dutos para Interligação entre
 331 Terminal e Refinaria PREMIUM I. Diagnóstico Ambiental - Meio Físico. Volume
 332 II. São Luís.

333 GEORGE, F.H. (1971). The use of models in Science. In: CHORLEY, R.J.;
 334 HAGGET, P. Models in Geography. London. Mathuen e Co Ltd.

335 GOMES, R. D.; PEREIRA, S. Y. y ESPINDOLA, R.C. (2004). Mapeamento do
 336 risco de contaminação no aquífero livre do município de Pereira Barreto/SP.
 337 XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá-MT.

338 HAGGET, P. (1972). Geography: a modern synthesis. 2 ed. New York, Harper
 339 & Row.

340 OLIVEIRA, A.I.L.; FRANCA-ROCHA, W. (2010). Proposição metodológica para
 341 modelagem da vulnerabilidade e risco dos recursos hídricos subterrâneos na
 342 sub-bacia do Alto Paraguaçu, Estado da Bahia. XVI Congresso Brasileiro de
 343 Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São
 344 Luís – MA.

345 SOARES FILHO, B.S. (2000). Modelagem de Dados Espaciais. Curso de
 346 especialização em geoprocessamento. Departamento de Cartografia Centro de
 347 Sensoriamento Remoto. UFMG. 17p.

348

349

4. ARTIGO 2. VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E QUALIDADE DAS ÁGUAS DE POÇOS DESTINADAS AO CONSUMO HUMANO NO MUNICÍPIO DE BACABEIRA-MA

Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Bacabeira, com vistas ao consumo humano e consequentemente à saúde da população, através do modelo espacial (mapa) em um Sistema de Informação Geográfica e análises físico-químicas (pH, cloreto, nitrato) e bacteriológicas (coliformes totais e termotolerantes). Este município e seu manancial subterrâneo, já apresenta uma alta susceptibilidade por está exposto a fatores de ameaça como: inserido em zona costeira, exercer atividades de mineração, e recentemente ter criado um distrito industrial na área destinada para implantação de uma refinaria de petróleo e gás. O mapeamento da Vulnerabilidade utilizou o Método GODD, adaptado a partir da inserção do parâmetro Declividade (D), aos de Confinamento (G), Ocorrência (O) e Distância (D). Os dados foram extraídos do Sistema de Informação de água Subterrânea-SIAGAS/CPRM, EMBRAPA, processamento digital de imagem de Radar SRTM e trabalho de campo, o qual foi realizado em abril/2016, pico da estação chuvosa. O modelo (mapa) definiu áreas de extrema, alta, média e baixa vulnerabilidade e possibilitou que os 10 poços que abastecem as comunidades em Bacabeira, quando sobrepostos aos dados populacionais dos setores censitários (IBGE), demonstraram que 30% dos poços que abastecem diretamente 350 habitantes encontram-se sob aquíferos de alta vulnerabilidade, enquanto 70% que respondem pelo abastecimento de 450 habitantes, revelaram média vulnerabilidade à contaminação. No que se refere às variáveis físico-químicas somente o pH mostrou valores dentro da variação permitida, enquanto cloreto, nitrato, coliformes totais e coliformes termotolerantes revelaram concentrações acima dos valores máximos permitidos, conforme legislações vigentes. Desse modo, a utilização de uma fonte de manancial subterrâneo para consumo humano em Bacabeira se apresenta como um fator de vulnerabilidade à saúde da população, expondo-a a doenças de veiculação hídrica e risco à saúde pública.

Palavras-chave: geotecnologias, aquíferos, poços, bacteriologia, saúde e ambiente.

Abstract

The objective was to analyze the vulnerability to contamination of the groundwater of the municipality of Bacabeira, with a view to human consumption and consequently to the health of the population, through the spatial model (map) in a Geographic Information System and physicochemical analyzes (pH, chloride, nitrate) and bacteriological (total coliforms and thermotolerant coliforms). This municipality and its underground spring, already presents / displays a high susceptibility because it is exposed to factors of threat as: inserted in coastal zone, to carry out mining activities, and recently to have created an industrial district in the area destined for the implantation of an oil and gas refinery . The Vulnerability mapping used the GODD Method, adapted from the insertion of the Declivity parameter (D), the Confinement (G), Occurrence (O) and Distance (D) parameters. The data were extracted from the Underground Water Information System - SIAGAS / CPRM, EMBRAPA, SRTM Radar Digital Image Processing and Field Work, which was carried out in April / 2016, the peak of the rainy season. The model (map) defined areas of extreme, high, medium and low vulnerability and allowed that the 10 wells that supply the communities in Bacabeira, when superimposed on the population data of the census tracts (IBGE), showed that 30% of the wells that directly supply 350 inhabitants are under high vulnerability aquifers, while 70% that respond for the supply of 450 inhabitants, revealed medium vulnerability to contamination. Regarding the physical-chemical variables, only pH showed values within the allowed variation, while chloride, nitrate, total coliforms and thermotolerant coliforms showed concentrations above the maximum permitted values, according to the current legislation. Thus, the use of underground water source for human consumption in Bacabeira is presented as a vulnerability factor to the health of the population exposing it to waterborne diseases and public health risk.

Keywords: geotechnologies, aquifers, wells, bacteriology, health and environment

55 **INTRODUÇÃO**

56 A utilização dos recursos hídricos subterrâneos vem se destacando no
57 cenário mundial em virtude da crescente escassez de água potável de
58 mananciais superficiais. No entanto, esses recursos têm sido submetidos a
59 vários tipos de degradação, contaminação e poluição, contribuindo para a
60 insalubridade ambiental e conseqüentemente, para a proliferação de doenças
61 infecciosas e parasitárias, de veiculação hídrica.

62 No Maranhão, 74% das sedes municipais são abastecidas
63 exclusivamente por mananciais subterrâneos (ANA, 2010). Entretanto, poucas
64 são as produções científicas relacionando a sua influência na saúde da
65 população.

66 O território do município de Bacabeiraé atualmente abastecido,
67 conforme ANA (2009) por sistema integrado com captação em manancial misto
68 (superficial/subterrâneo). Ainda a Agência, o sistema isolado (poços)
69 representa 50% da participação no abastecimento do município, demonstrando
70 sua relevâncianeste papel da prestação de serviço público essencial.

71 Bacabeira também está inserida no contexto da necessidade de
72 ampliação dos seus sistemas de abastecimento, e no contexto de muitos
73 municípios brasileiros em que não possuem ordenamento territorial sob viés da
74 sustentabilidade, exploração de recursos naturais e ocorrência de atividades
75 antrópicas sem planejamento. Este cenário reflete diretamente na qualidade de
76 vida e na saúde das populações, especialmente aquelas de menor capacidade
77 de suportar danos/perdas, de resiliência e de poder aquisitivo.

78 Desta forma, a preservação da qualidade da água de seus mananciais
79 subterrâneos é uma necessidade de responsabilidade universal, exigindo
80 atenção por parte das autoridades de gestão e consumidores em geral,
81 principalmente porque está relacionada com a saúde humana. Esta
82 necessidade é um desafio que poderá ser enfrentado, também com estratégias
83 de monitoramento da qualidade da água e otimização de mapeamentos de
84 vulnerabilidades.

85 Assim, este trabalho tem por objetivo analisar a vulnerabilidade
86 intrínseca da água subterrânea e a qualidade das águas de poços

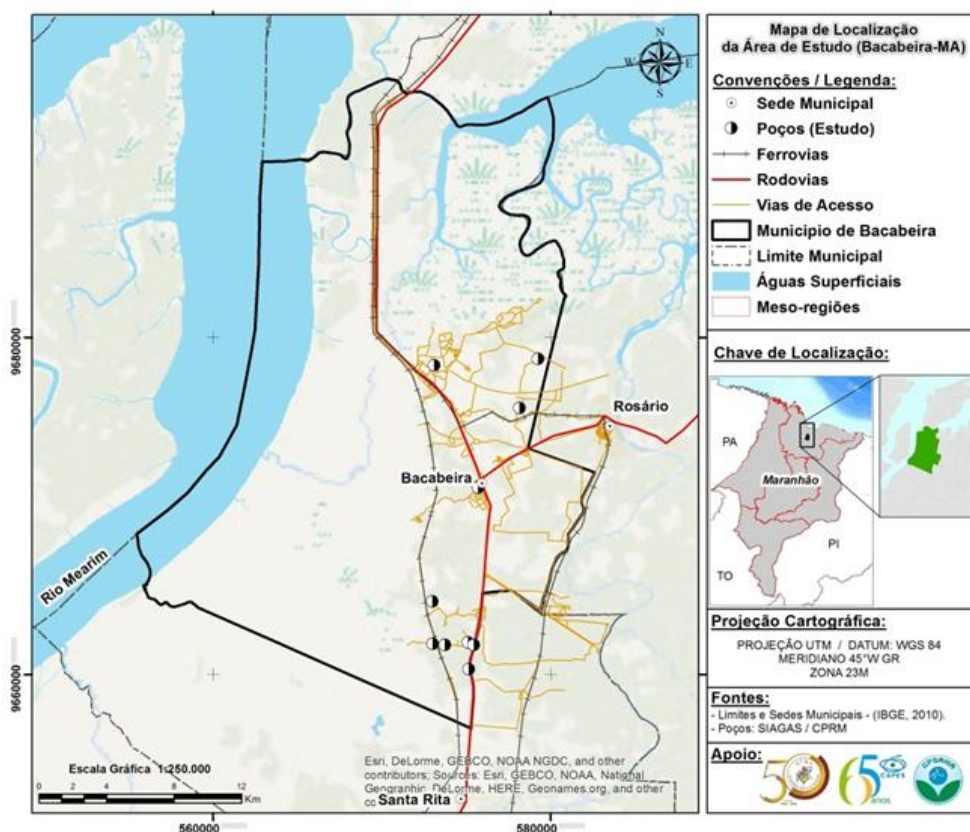
destinados ao consumo humano no município de Bacabeira-MA, através de mapeamento baseado em um Sistema de Informação Geográfica e análises físico-químicas e bacteriológicas, além de se apresentar como uma ferramenta de gestão que almeja sustentar o processo de tomada de decisão, principalmente na formulação de políticas públicas na área de saúde e ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

O município de Bacabeira está localizado na Mesorregião Norte-Maranhense e Zona Costeira (Figura 4-1), entre as coordenadas UTM 562100/9696367 e 586280/9655693 e com uma área geográfica de 531,02 km². Possuía uma população em 2010 de 14.925 habitantes e com uma estimativa populacional para 2015 de 16.553 habitantes (IBGE, 2010).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) referente ao ano de 2010 foi de 0,629 (IBGE, 2010). Sua economia gira em torno da agropecuária, serviços e indústria, com possibilidades de mudanças decorrentes de obras do setor de logística (infraestrutura de modal rodoviária, ferroviária e portuária) e distrito industrial já com vinda, anunciada, de uma siderurgia de aço chinesa de grande porte.



Fonte: Autor

Bacabeira está localizada na Zona Tropical Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, semi-úmido 4 a 5 meses secos (EMBRAPA, 2013). Para a região, a estação chuvosa é de janeiro a julho, com os maiores índices pluviométricos de março a maio variando em uma média mensal de 318mm a 445 mm respectivamente com pico em abril. Tais informações tornam-se relevantes nos aspectos da vulnerabilidade dos aquíferos a partir do momento que, naturalmente a suscetibilidade do mesmo acompanha esta dinâmica pluviométrica pela característica intrínseca do ciclo hidrológico através da recarga hídrica pela infiltração da água no solo.

Quanto a geologia, Bacabeira situa-se sobre o alto estrutural denominado Horst de Rosário representado por granitoides pertencentes à Suíte Intrusiva Rosário ao longo do Arco Estrutural Ferrer-Rosário-Bacabal, formada por rochas magmáticas relacionadas ao magmatismo orogênico – pré-colisional do período Riachão e por sedimentos da era Mesozoica ao Quaternário. O magmatismo orogênico na Bacia do Parnaíba resultou na formação dos granitoides da Suíte Intrusiva Rosário e no processo de

136 sedimentação no Cretáceo com os sedimentos da Formação Itapecuru,
137 Formação Terciário-Paleogeno, Formação Barreiras e, finalmente, pelos
138 sedimentos recentes Quaternários representados pelos depósitos Flúvio-
139 lagunares e de mangues (FSADU, 2013).

140 O Estado do Maranhão está localizado, quase integralmente, na Bacia
141 Sedimentar do Rio Parnaíba, uma das mais importantes províncias
142 hidrogeológicas do País, com possibilidades promissoras de armazenamento e
143 exploração de águas subterrâneas (BATISTELA et.al., 2003).

144 Conforme CPRM (2013), em Bacabeira encontram-se as unidades
145 hidrogeológicas Depósitos de Pântanos e Mangues, Depósitos Aluvionares,
146 Depósitos Flúvio-Marinhas, Tromaí e Itapecuru. Quanto a este último, é o que
147 se apresenta como de melhor aproveitamento para captação de água
148 subterrânea por conta de camadas arenosas em profundidades que variam em
149 cerca de 70 a 170 m, e espessura total variando entre 30 e 40 m (FSADU,
150 2013).

151 O relevo de Bacabeira apresenta baixas altitudes, sendo que as mais
152 elevadas se encontram a centro-oeste do território municipal nos
153 tabuleiros/baixos platôs, e as menores altitudes na região norte e leste onde
154 encontram-se as planícies de maré e flúvio-marinhas (Campo de Perizes).

155 Importantes compartimentos ambientais estão presentes no município,
156 na região norte-leste do município encontram-se extensas áreas de
157 manguezais e planícies de campos inundáveis, ainda em algumas áreas a
158 norte, oeste e sul - e remanescentes de floresta secundária.

159 Em contraste a este cenário, apresenta uma urbanização não
160 planejada em processo constante de crescimento, atividades de mineração
161 (brita e argila), vias de intenso transporte ferroviário (Carajás) e rodoviário (BR-
162 135 e BR-420), zonas de passagens de redes elétricas de baixa, média e alta
163 tensão e grandes dutos de distribuição de água para abastecimento, enfim,
164 uma área sob constante pressão ambiental.

Procedimentos

Inicialmente foi realizada consulta e aquisição de dados espaciais de poços cadastrados no banco de dados do Sistema de Informação das Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil – SIAGAS/CPRM inseridos na área de estudo, e ainda foram considerados também alguns poços nas proximidades, mesmo fora dos limites da área de estudo.

Após, foi realizada junto a prefeitura municipal de Bacabeira a confirmação de quais poços eram destinados diretamente ao abastecimento para consumo humano.

Já em campo, foram realizadas validações das localizações dos poços através da utilização de aparelho GPS GARMIN E-Trex 20x, as primeiras medições de parâmetros físico-químicos (nível de elevação do lençol freático, pH, Oxigênio Dissolvido, Temperatura e Condutividade) através de aparelho Multiparâmetro, coletas e acondicionamento de amostras de água dos respectivos poços. As mesmas foram transportadas em caixas térmicas em um tempo máximo de 12 horas para os laboratórios da Universidade Federal do Maranhão para análises de pH, Cloreto, Nitrato e Bacteriológicas.

As metodologias utilizadas para as análises dos parâmetros físico-químicos e os limites máximos permitidos pela legislação brasileira (Resolução CONAMA nº 396/08 e Portaria MS nº 518/04) estão descritas no Quadro 4-1.

Quadro 4-1. Parâmetros físico-químicos seus respectivos métodos de análise e seus limites máximos conforme legislação brasileira.

PARÂMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	VMP/UNIDADE	LEGISLAÇÃO
pH	Multiparâmetro HANNA Hq40d – sonda pH	6 a 9,5	PORTARIA MS 518/2004
Cloreto	Tritrimetria / Agentometria	250 mg de Cl/L	Resolução do CONAMA nº 396/08
Nitrato	Espectrofotometria / Coluna redutora de cádmio	10 mg de N-NO ₃ -L	Resolução do CONAMA nº 396/08
Bacteriológico (Coliformes Totais e E. coli)	Colilert® - substrato cromogênico	Ausente / Ausente	PORTARIA MS 518/2004

Fonte: adaptado de APHA (2005), Brasil (2008).

Em seguida, em um Sistema de Informação Geográfico-SIG (ArcGIS 10.2 - ESRI, 2013) foi elaborado um banco de dados espacial organizando informações (raster, vetores e cadastros) ambientais disponíveis e coletados da

área de estudo (hidrogeologia, solos, topografia, toponímia, demografia/setores censitários, limites geopolíticos e outros). Neste SIG foram realizadas rotinas/processamentos (Quadro 4-2) que subsidiaram as etapas das análises espaciais e confecções de mapas.

Quadro 4-2. Operações realizadas em SIG e suas respectivas ferramentas aplicadas.

OPERAÇÃO	FERRAMENTA APLICADA (<i>ToolBox...</i>)
Atribuição de mesmo Datum (WGS84) e projeção (UTM – 23s)	<i>Data Management Tools / Projection and Transformation</i>
Recorte	<i>Analysis Tools/Extract/Clip</i>
Correção de imperfeições topográficas - relevo	<i>Spatial Analysis Tools / Hydrology / Fill</i>
Extração de curvas de nível	<i>Spatial Analysis Tools/Contour</i>
Geração de classes de declividade (%)	<i>Spatial Analysis Tools / Surface / Slope</i>
Edição de tabela de atributos – classificação e reclassificações	<i>Spatial Analysis Tools / Reclass / Reclassify”</i>
Álgebra de mapa	<i>Spatial Analysis Tools/Map Algebra/Raster Calculator</i>

Método GOD(D) adaptado

Os métodos para determinar a vulnerabilidade variam de qualitativos a quantitativos, acessíveis a onerosos, avaliações de indexação simples ao complexo e avaliações de modelagem numérica (FOCAZIO et al., 2003). A abordagem usada para determinar a vulnerabilidade para um projeto particular vai depender de numerosos fatores, incluindo a finalidade e âmbito dos requisitos de estudo, escala, disponibilidade de dados, tempo, custo e do usuário final.

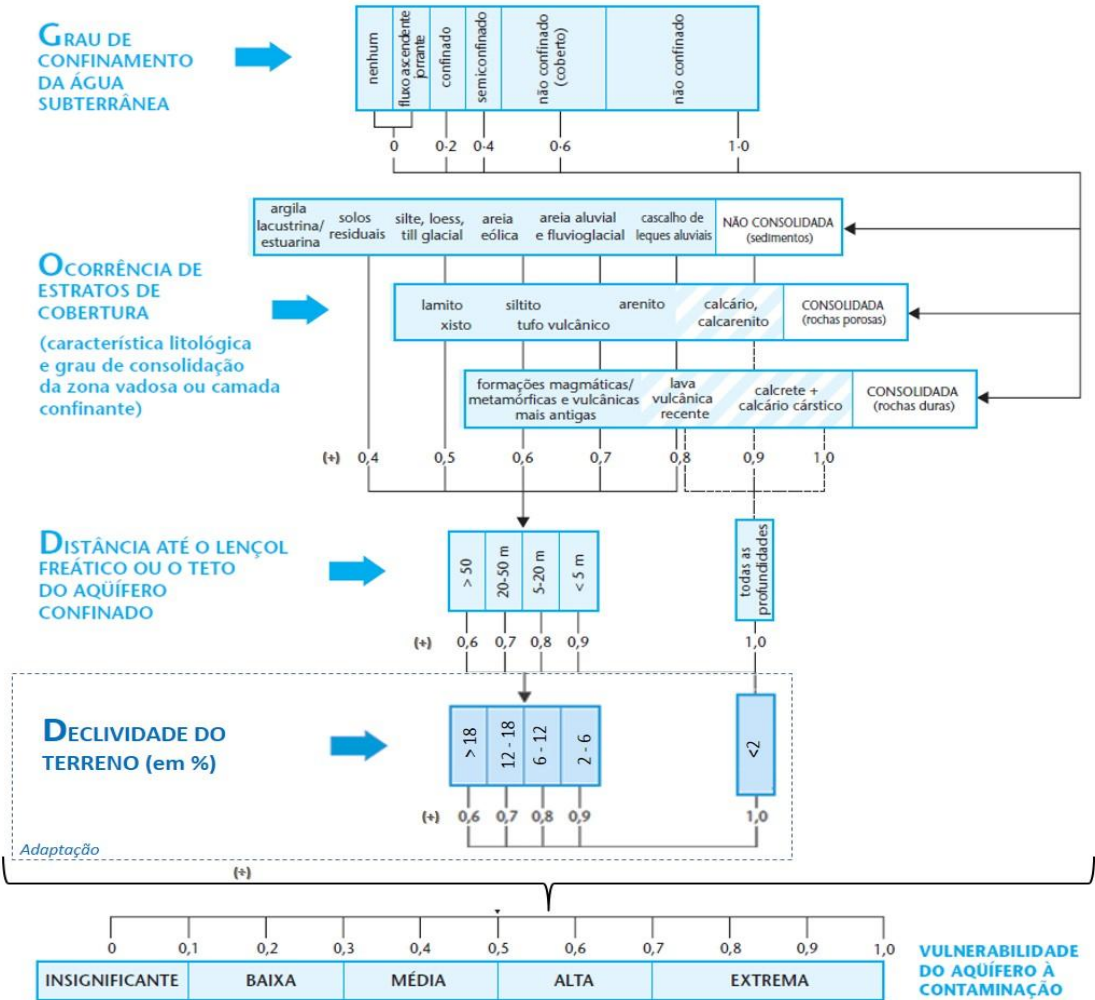
Por tal, o método adotado para o mapeamento da vulnerabilidade foi o Método GOD (Foster, 1987), com adaptação através da inserção do parâmetro Declividade (Figura 4-2). O método GOD, possui uma maior aplicabilidade na América Latina sendo utilizado atualmente com maior frequência no Brasil, é um método de simplicidade conceitual (FOSTER et al., 2006), além de relativa facilidade de obtenção de dados referentes aos seus parâmetros analíticos. Este, consiste na avaliação de três parâmetros/variáveis hidrogeológicas - grau de confinamento da água subterrânea (G); ocorrência de estratos de cobertura (O); e distância até o nível freático da água subterrânea (D).

Também adaptada, a operação base do cálculo matemático da equação do método de classificação da vulnerabilidade foi a média aritmética, conforme podemos observar na seguinte equação:

$$VECAS = G + O + D + D / 4$$

Onde,
 G – Grau de Confinamento da Água Subterrânea
 O – Ocorrência de Estratos de Cobertura
 D – Distância até o Lençol Freático ou teto do Aquífero Confinado
 D – Declividade

Figura 4-2. Método GOD com adaptação (inserção do parâmetro Declividade) para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.



Fonte: Adaptado de Foster, 1987.

A declividade condiciona o escoamento e/ou infiltração do poluente/contaminante no solo, o que para Aller et al. (1987), ao considerar o mesmo material geológico, locais com baixo declive são mais vulneráveis

devido ao maior potencial de infiltração. Já locais com elevado declive mostram maior potencial de escoamento associados a valores baixos de vulnerabilidade.

Para o grau de confinamento da água subterrânea foi indexado a escala de 0,0 a 1,0. A especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero é determinada em termos do grau de consolidação e pela característica da litologia de permeabilidade e a porosidade do solo da zona não saturada, levando a uma segunda pontuação, numa escala de 0,4 a 1,0. O parâmetro que estima a profundidade até o lençol freático, no caso dos aquíferos livres, ou a profundidade do primeiro nível principal da água, para aquíferos confinados, segue com uma classificação na escala de 0,6 a 1,0. Esta última classificação também é mesma seguida para o parâmetro da declividade.

O Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos estipulou intervalos que indicam que solos em locais de 0 a 2% de declividade está relacionado a maior oportunidade para o poluente infiltrar porque nessas áreas o escoamento é baixo ou nulo, declividades com mais de 18% são menos sujeitos a infiltração porque justamente designam locais suscetíveis a erosão e baixa infiltração.

Esta classificação foi aplicada no SIG através do processamento digital de imagem-PDI de dados (banda X – 30 m) do radar da Shuttle Radar Topography Mission-SRTM 2000 (cenas s03_w045_1arc_v3.tif e s04_w045_1arc_v3.tif) disponibilizados em sítio eletrônico da *United States Geological Survey-USGS*. Foram aplicadas as ferramentas “*Spatial Analysis Tools/Hydrology/Fill*” para correção de imperfeições do relevo, a ferramenta “*Spatial Analysis Tools/Contour*” – para extração de curvas de nível e a ferramenta “*Spatial Analysis Tools/Surface/Slope*” para geração de classes de declividade em percentagem.

Em resumo, para cada parâmetro descrito há um respectivo índice (Figura 4-2), que aplicada equação destes índices resulta nas classes de intervalo correspondente às classes de vulnerabilidade do aquífero. A definição correspondente às estas classes (Extremo, Alto, Médio, Baixo e Insignificante) são apresentadas no Quadro 4-3.

265

Quadro 4-3. Definições correspondentes às classes de vulnerabilidade.

INTERVALO	CLASSE DE VULNERABILIDADE	DEFINIÇÃO CORRESPONDENTE
0,7 - 1,0	Extrema	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação; Terreno com declividade inferior a 2%
0,5 - 0,7	Alta	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação; Terreno com declividade entre 2% a 6%
0,3 - 0,5	Média	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados; Terreno com declividade entre 6% a 12%
0,1 - 0,3	Baixa	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados; Terreno com declividade entre 12% a 18%
0,0 - 0,1	Insignificante	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação); Terreno com declividade superior a 18%

266

Fonte: Adaptado de Foster & Hirata (1988).

267

268 Métodos de Interpolação

269 Sendra (1997), descreve que a interpolação espacial consiste em um
 270 procedimento que permite calcular o valor de uma variável em uma posição do
 271 espaço, (pontos não amostrais, com um valor estimado), conhecendo os
 272 valores destas variáveis em outras posições do espaço (pontos amostrais com
 273 valores reais).

274 Diversos métodos de interpolação estão disponíveis em alguns SIG's.
 275 Por tanto, assim como em Medeiros et. al. (2011), após realização de alguns
 276 testes de interpoladores, observou-se que para este conjunto de dados o
 277 interpolador IDW (*Inverse Distance Weighted* – Inverso do Peso da Distância)
 278 apresentou bons resultados.

279 O método IDW corresponde à interpolação entre cada ponto como uma
 280 influência local, diminuindo à medida que a distância entre os pontos aumenta.
 281 Este método apresentou valores mais próximos entre o dado observado e o
 282 medido corroborando com observações de Marcuzzo et al (2011), ao qual
 283 ressaltam que o modelo se baseia na dependência espacial, isto é, supõe que
 284 quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação
 285 entre seus valores.

286

Obtenção do mapa de vulnerabilidade e população susceptível

Um conceito comum em geoprocessamento é o conceito de álgebra de mapas. Enquanto na álgebra convencional as variáveis são representadas por símbolos como “x” ou “y”, na álgebra de mapas os próprios mapas ou planos de informação representam as variáveis. Ou seja, um valor ou atributo associado a uma feição de mapa (no caso de dados vetoriais), ou a uma célula (no caso de dados raster) representa uma variável na álgebra de mapas (LOBLER; SILVERIO da SILVA, 2015).

Os mesmos autores, comentam que alguns SIG's disponibilizam uma ferramenta similar a uma calculadora para realizar estas operações de álgebra de mapas. Estas “calculadoras de mapas” permitem de forma interativa a construção de expressões numéricas que produzem um novo plano de informações.

Este mapa de vulnerabilidade foi confeccionado a partir dos parâmetros (Confinamento, Ocorrência Distância e Declividade) classificados e reclassificados em índices através da edição de sua tabela de atributos, que em seguida conforme álgebra proposta através da ferramenta “*Spatial Analysis Tools/Map Algebra/Raster Calculator*”, obtivemos o mapa com os índices de vulnerabilidade especializados no território do município de Bacabeira.

Por fim a informação populacional/localidade que utiliza o recurso do manancial subterrâneo presente em arquivo vetorial de setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE foi sobreposto ao mapa de vulnerabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No município de Bacabeira encontra-se registrados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas-SIAGAS/CPRM 28 poços destinados a diversos usos que superam uma vazão de 200 m³/h. De fato, o número real de poços presentes em Bacabeira é maior, pois nem todos possuem registro, cadastro e/ou outorga. Farias Nane et.al (2012), também observaram situação similar em São Sebastião-AL onde o cadastramento poços não condiz com a realidade da região.

Em Bacabeira com a destinação para abastecimento humano foram identificados 14 poços, sendo que 4 encontram-se desativados e 10 ativos destinando-se à uso doméstico primário e secundário (água para beber, uso geral e dessedentação animal). Estes poços encontram-se nas unidades hidrogeológicas do Itapecuru (50%), Tromaí (30%) e Depósitos flúvio-marinhos (20%) respectivamente (Quadro 4).

Quanto ao domínio dos poços, 90% são públicos do tipo tubular, e apenas 1 (um) localizado no centro de Bacabeira é privado do tipo amazonas (escavado manualmente). Este, não possui cadastro no SIAGAS/CPRM e conforme relatos, seu uso é histórico ainda servindo a comunidade em seu entorno quando problemas relacionados ao abastecimento de água ocorrem. Em 2011, a CPRM cadastrou 16 pontos d'água no município de Bacabeira, onde todos eram poços tubulares e públicos, e que na ocasião três deles já se encontravam paralisados.

Conforme dados cadastrais dos poços no SIAGAS/CPRM, os valores dos parâmetros que integraram a base do método adaptado apresentaram variações (Quadro 4-4), demonstrando uma amplitude de valores para: Grau de confinamento da água subterrânea "G" valores de 0,2 (poços confinados); 0,4 (poços semi-confinados) e 0,6 (poço não-confinado coberto); Ocorrência de estratos de cobertura "O" (0,4 para poço em região não consolidada) e 0,7 (para poço em região consolidada); Distância até o nível freático da água subterrânea "D" 0,6 (poços com distância superior a 50m); 0,7 (com distância entre 20 a 50m), 0,8 (poços com distância de 5 a 20m) e 0,9 (poços com distância <5m); e Declividade "D" 0,6 (para poços em áreas com declividade superior a 18%); 0,7 (em declividade entre 12 a 18%) e 0,8 (para poços em áreas com declividade de 6 a 12%).

Quadro 4-4. Descrição de localidade, situação/domínio, unidades hidrogeológicas, valores dos parâmetros analisados e Índices de Vulnerabilidade de poços destinados ao abastecimento humano no município de Bacabeira.

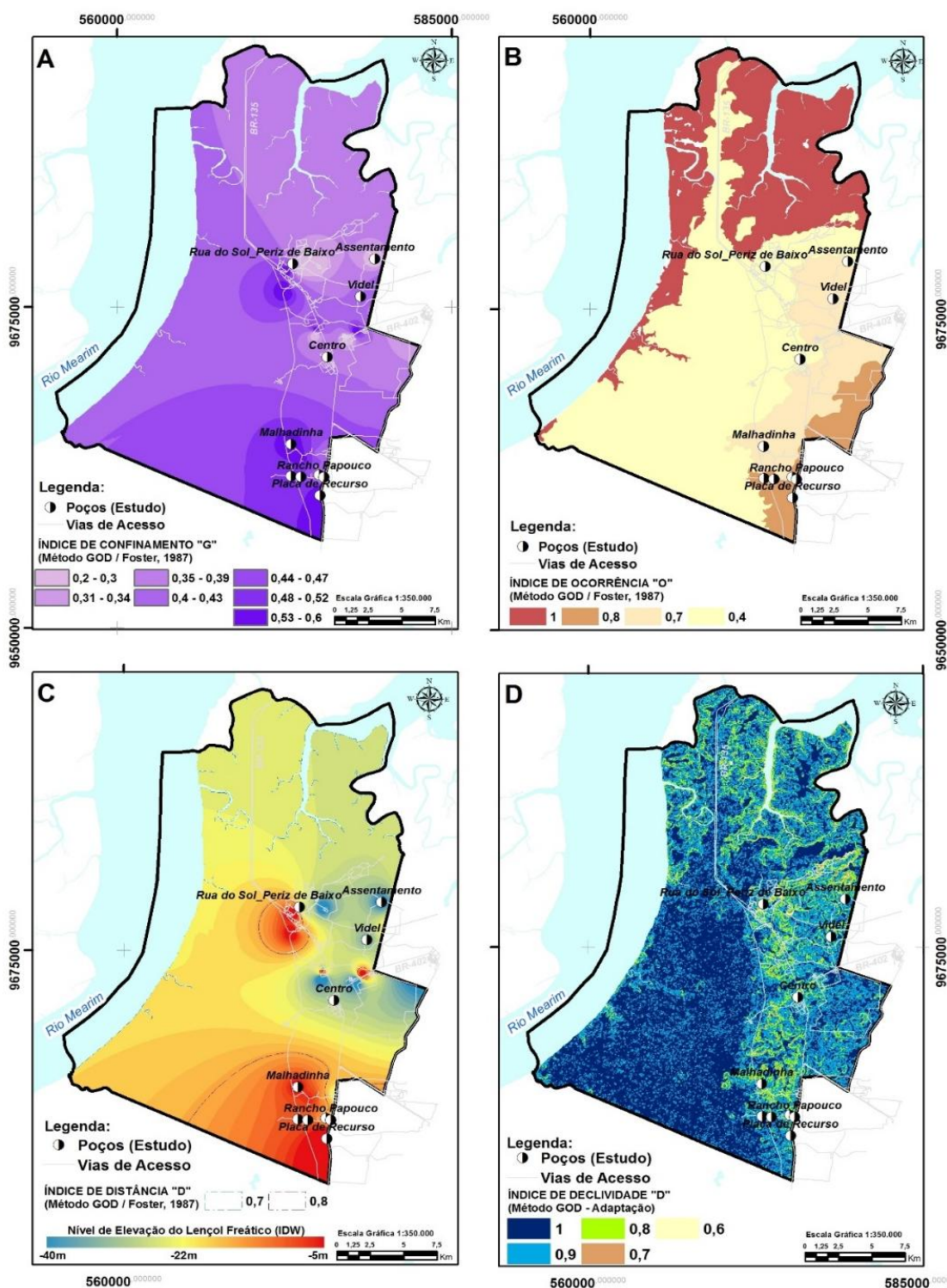
POÇO	LOCALIDADE	SITUAÇÃO / DOMÍNIO	UNIDADE HIDROGEOLÓGICA	"G"	"O"	"D"	"D"	ÍNDICE-GOD(D)
1	Rua do Sol-Periz de Baixo	Ativo / Público	Tromaí	0,4	0,4	0,8	0,8	0,60 – Alta
2	Assentamento	Ativo / Público	Tromaí	0,4	0,7	0,7	0,8	0,65 – Alta
3	Videl	Ativo / Público	Tromaí	0,2	0,4	0,7	0,7	0,50 – Média
4	Ramal do Aboud	Ativo /	Depósitos Flúvio-	0,2	0,4	0,8	0,6	0,50 – Média

	3	Público	Marinho					
5	Ramal do Aboud 2	Ativo / Público	Itapecuru	0,2	0,4	0,6	0,8	0,50 – Média
6	Ramal do Aboud 1	Ativo / Público	Itapecuru	0,2	0,4	0,7	0,7	0,50 – Média
7	Rancho Papouco	Ativo / Público	Itapecuru	0,2	0,4	0,7	0,7	0,50 – Média
8	Placa de Recurso	Ativo / Público	Itapecuru	0,2	0,4	0,8	0,6	0,50 – Média
9	Malhadinha	Ativo / Público	Depósitos Flúvio- Marinho	0,2	0,4	0,8	0,6	0,50 – Média
10	Centro	Ativo / Privado	Itapecuru	0,6	0,4	0,9	0,8	0,67 – Alta

No mapa do índice do parâmetro adaptado, Declividade “*D*” (Figura 4-3-D), observa-se o domínio da característica de um relevo plano e suavemente ondulado, o que em FSADU (2013), foi também caracterizado sob destaque na conformação do relevo do município de Bacabeira.

368
369

Figura 4-3. Mapas dos índices referente à parâmetros de análise da vulnerabilidade através do Sistema GOD(D) adaptado.



370

371

Fonte: Autor

372

373

374

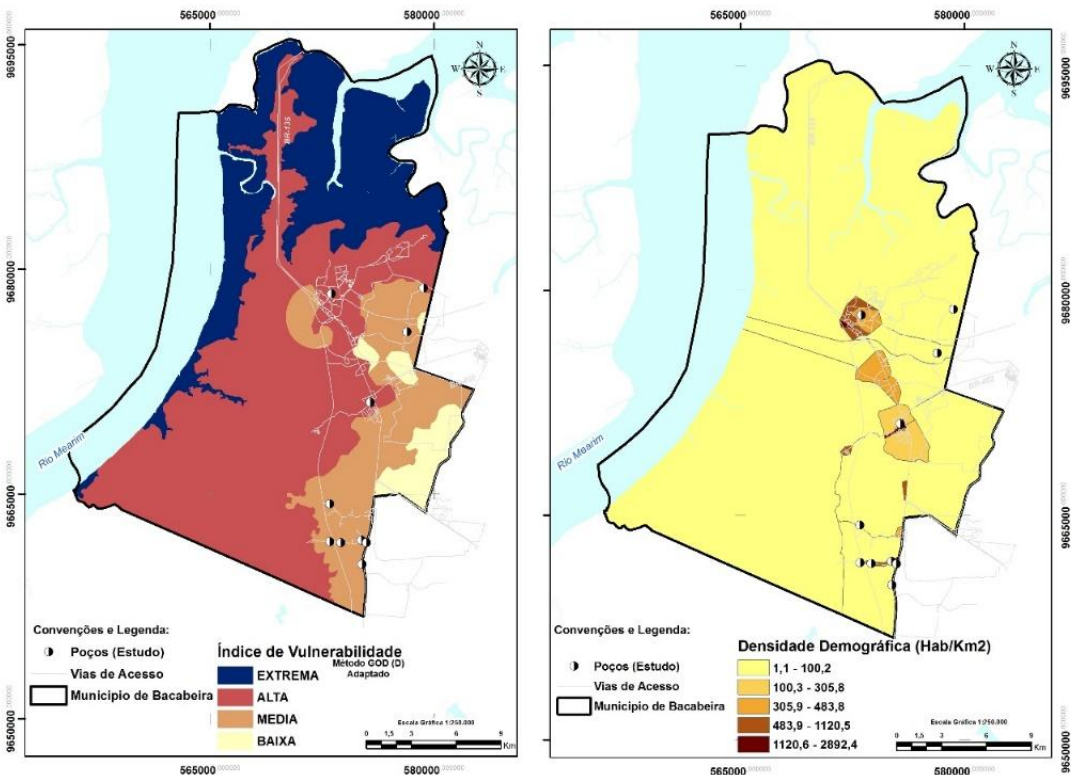
375

Os poços que apresentaram índice de média vulnerabilidade à contaminação, através do valor resultante 0,5 foram: Videl, Ramal do Aboud 1, 2 e 3, Rancho Papouco, Placa de Recurso e Malhadinha. Já para valores

resultantes que variaram de 0,60 a 0,67 que por sua vez os classificam em índices de alta vulnerabilidade foram: Rua do Sol-Periz de Baixo, Assentamento e Centro (Quadro 4-4Quadro 4-5 e Figura 4-4).

Conforme índices de vulnerabilidade apresentados em mapa (Figura 4-A)e sobrepostos às informações populacionais dos setores censitários do IBGE (Figura 4-4-B), identificou-se que os 30% dos poços sob alta vulnerabilidade abastecem diretamente 350 munícipes o os outros 70% (média vulnerabilidade) abastecem diretamente 450 munícipes. Os setores censitários que possuem as maiores concentrações populacionais e mais carentes de atenção, sob o aspecto da vulnerabilidade intrínseca à contaminação das águas subterrâneas são: Periz de Baixo, Centro/Sede e Ramal do Aboud/Rancho Papouco.

Figura 4-4. A) Mapa da vulnerabilidade das águas subterrâneas do município de Bacabeira; B) Mapa da densidade demográfica do município de Bacabeira.



Fonte: elaborado pelos autores

No SIG, os parâmetros classificados, assim como o índice de vulnerabilidade calculado, obtiveram sua distribuição espacial projetada para todo o território do município de Bacabeira, através da ferramenta de interpolação (modelo IDW), e que esta distribuição sofreu influência não só

pelas características do ambiente devido a inserção de valores dos parâmetros trabalhados, mas também, pela própria distribuição espacial dos poços estudados. Esta técnica possibilitou a classificação da vulnerabilidade de outras áreas dos aquíferos do município não mensurados diretamente, e que por tanto possibilitam ações estratégicas técnicas e de gestão dentro da perspectiva da qualidade ambiental e da própria saúde da população consumidora.

Quanto aos resultados analíticos dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos das águas dos poços, apenas alguns foram trazidos para esta discussão e comparados às legislações vigentes. Nos chamam à atenção alguns pontos em destaque (Quadro 4-5).

Quadro 4-5. Parâmetros biológicos e físico-químicos das águas de poços analisados.

POÇO	LOCALIDADE	pH	CLORETO CL ⁻ (mg/L)	NITRATO NO ₃ ⁻ (mg/L)	Coliformes Totais	E. Coli
1	Rua do Sol_Periz de Baixo	7.5	180	0.041	23.8	Ausente
2	Assentamento	7.79	345	0.343	64.4	1
3	Videl	6.8	215	0.982	>2419.6	Ausente
4	Ramal do Aboud 3	6.1	220	0.921	8.5	1
5	Ramal do Aboud 2	7.89	120	1.191	8.6	Ausente
6	Ramal do Aboud 1	7.03	140	0.949	2	Ausente
7	Rancho Papouco	6.74	90	15.028	>2419.6	80.1
8	Placa de Recurso	7.68	145	7.996	13.5	1
9	Malhadinha	7.28	195	1.628	14.4	6.3
10	Centro	6.8	120	0.985	1100	1

O pH se apresenta como um importante indicador da qualidade da água, uma vez que ele possui uma relação direta com diversos outros elementos. Nos 10 poços analisados, foi observado uma variação aos valores de pH 6,1 a 7,89 mg. L⁻¹, demonstrando uma tendência de neutralidade em suas águas e com a maioria ficando dentro do valor máximo permitido 6 e 9,5 (Portaria MS 518/04). Estes resultados e tendência corroboram com Oliveira Jr; Silva e Silva (2016) ao analisarem o pH das águas subterrâneas de abastecimento urbano do município de Mossoró-RN.

Pereira et al. (2004) realizaram análise hidroquímica nos aquíferos Barreira e Itapecuru na Ilha do Maranhão, região limítrofe ao norte com a área deste estudo, indicaram o pH neutro nas águas aquífero Itapecuru.

O nitrato faz parte do ciclo biogeoquímico do nitrogênio, fazendo parte dos ecossistemas naturais dos seres vivos. Contudo, as altas concentrações de nitrato em água podem trazer riscos à saúde do homem e quase sempre apresentam problemas ambientais (BRASIL, 2004).

As análises de nitrato referente aos poços estudados em Bacabeira apresentaram valores, em sua maioria (60%), abaixo dos valores permitido na RESOLUÇÃO CONAMA 396/08 (1.000 mg. L⁻¹). Já, os poços das localidades Rancho Papouco, Placa de Recurso, Malhadinha e Ramal do Aboud 2 apresentaram concentrações acima do VMP de 15.028, 7.996, 1.628 e 1.191 mg/L de NO₃⁻.

O cloreto assim como sais de cálcio, sulfatos e nitratos podem interferir e modificar a dureza da água. Tratando de água para o consumo humano, o sabor é a principal limitação, pois os cloretos dissolvidos na água em excesso podem resultar em um sabor salino na mesma.

Respeitando os padrões de potabilidade e as classificações das águas subterrâneas, a Resolução CONAMA nº 396/08 coloca como sendo valor máximo permitido para cloretos em 250mg L⁻¹. Águas com teores menores que 250mg L⁻¹ de cloretos é satisfatória para serviços de abastecimento doméstico sendo o seu ideal, menor que 150mg L⁻¹.

As análises de Cloretos nas amostras coletadas dos poços apresentaram valores abaixo do VMP da Resolução supracitada em 90%, sendo somente no poço da localidade de Assentamento com valor superior (345mg L⁻¹).

Rodrigues et al. (1994), classificaram as águas do Aquífero Itapecuru como carbonatadas (34,50%), cloretadas (34,50%), cloretadas carbonatadas (22,40%), mistas (6,90%) e sulfetadas cloretadas (1,70%) predominando o comportamento hidroquímico carbonatadas e cloretadas para o aquífero Itapecuru (FSADU, 2013). A presença de águas cloretadas nestes aquíferos deve-se à localização da área na costa, sendo influenciadas pela presença de aerossóis marinhos.

Quanto às análise bacteriológicas das amostras de água dos poços estudados, 40% apresentaram ausência de coliformes termotolerantes

atendendo aos padrões de qualidade, enquanto que em 60% do total de amostras analisadas não seguem o padrão ditado pela Portaria MS nº 518/2004, a qual define que para águas providas de nascentes, poços e minas que não receberam nenhum tratamento antes de serem consumidas, é tolerada a presença de coliformes totais, desde que estejam ausentes os termotolerantes. Considerando os resultados obtidos nas contagens de coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*), comparados com o padrão exigido, pode-se afirmar que as amostras avaliadas apresentaram baixa qualidade higiênico-sanitária.

A *Escherichia coli* é um micro-organismo considerado como o mais importante indicador de poluição fecal das águas e, portanto, de risco à saúde quando se consome água em que ele está presente (DAWSON; SARTORY, 2000).

Resultado similares de estudos desta natureza (bacteriológicos) são descritos em diversas cidades brasileiras como em: Silva e Araujo (2003); Camargo e Paulosso (2009) – área urbana de Feira de Santana/BA; Amaral et al (2003) – cidades do nordeste de SP; Cajazeiras (2007) – Crajubar/CE; Colvara et al (2009) – cidades do sul do RS; Nunes et al (2010) – Jaboticabal em SP; Costa et al (2012) – Estado do Ceará; Farias Nanes; Nanes e Farias (2012) – São Sebastião/AL e Daneluz e Tessaro (2015) – região sudoeste do PR.

Oliveira et al. (2016), também realizando análise da qualidade da água subterrânea em comunidades rurais de São Luís – MA, município limítrofe desta área de estudo, também detectaram “presença” de *Escherichia coli* em 04 amostras analisadas, demonstrando que os respectivos poços oferecem risco à saúde das famílias consumidoras.

Desse modo, e também inserida neste cenário da qualidade das águas subterrâneas, a utilização de fonte de água deste manancial para consumo humano em Bacabeira se apresenta como um fator de vulnerabilidade à saúde da população expondo-a a doenças de veiculação hídrica e em risco à saúde pública, uma vez que elevado percentual das amostras encontram-se em desacordo com a legislação vigente, não apresentando condições de

484 potabilidade, sendo, portanto, capaz de transmitir enfermidades de veiculação
485 hídrica.

486 Queiroz et al. (2002), ressaltam que a população consumidora do
487 manancial subterrâneo não possui conhecimento dessa falta de qualidade
488 sanitária da água e sem nenhum tipo de tratamento associado, acarretando à
489 falsa ideia de que a água subterrânea seja potável.

490 **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

491 A utilização de geotecnologias como GPS, SIG e suas ferramentas de
492 análise espacial viabilizam o desenvolvimento de análises e caracterizações da
493 vulnerabilidade das águas subterrâneas e consequentemente também à
494 tomada de decisões sob aspectos técnicos-científicos nas áreas de saúde e
495 ambiente.

496 O método GOD(*D*) adaptado e a ferramenta de interpolação, neste
497 caso o IDW, mostraram-se satisfatórios para a área de estudo, pois
498 demonstraram de maneira espacializada o resultado da classificação da
499 vulnerabilidade conforme características físicas do ambiente e análises das
500 águas dos poços realizadas. Considerando uma análise de vulnerabilidade
501 Intrínseca, e não específica, os resultados analíticos das amostras demonstram
502 uma validação às classes especializadas.

503 Outros métodos de obtenção da vulnerabilidade de aquíferos devem
504 ser utilizados e comparados seus resultados para uma tomada de decisão
505 melhor apoiada na interdisciplinaridade do conhecimento científico e que por
506 sua vez apoie a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. O objetivo da
507 otimização de mapeamentos utilizando qualquer método, pode ser alcançado
508 com o uso de um maior número de poços e seus respectivos dados (amostras)
509 observando também suas escalas espaciais e temporais.

510 Em Bacaberia, os poços que apresentaram índice de média
511 vulnerabilidade à contaminação (Videl, Ramal do Aboud 1, 2 e 3, Rancho
512 Papouco, Placa de Recurso e Malhadinha), e os poços classificados sob índice
513 de alta vulnerabilidade (Rua do Sol-Periz de Baixo, Assentamento e Centro),
514 demonstram a necessidade de monitoramento permanente, remediação dos

515 poços contaminados e acompanhamento da gestão pública (setores de
516 saneamento e saúde), já que este manancial é a única alternativa de
517 abastecimento de água destas comunidades.

518 **REFERÊNCIAS**

519 ALLER L., BENNETT T., LEHR J. H. y PETTY R. J. DRASTIC: a standardized
520 system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic
521 settings. Ada: EPA. 641 pp. EPA/600/2-85/0108. (1987).

522 A.P.H.A. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21. ed.
523 Washington: Apha/wef/awwa,2005.

524 AMARAL, L.A.; NADER FILHO, A.; ROSSI JUNIOR, O.D.; FERREIRA, F.L.A.;
525 BARROS L.S.S. Água de consumo humano como fator derisco à saúde em
526 propriedades rurais. Revista de Saúde Pública,v.37, n.4, p.510-514, 2003.

527 BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. Conjuntura dos recursos hídricos
528 no Brasil 2009 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília : ANA, 2009.

529 BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. Atlas Brasil: abastecimento
530 urbano de água: resultados por estado. Engecorps/Cobrape. Brasília, 2010.
531 Volume 2.

532 BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518, de25 de março de 2004.
533 Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e
534 vigilância daqualidade da água para consumo humano e seu padrão
535 de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2004.

536 BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 396 de
537 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o
538 enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília,
539 2008.

540 BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cadastro Nacional para
541 Fins Estatísticos - CNEFE/IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em:
542 http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=ma&tema=cnefe_censodemog2010. Consultado em 18/08/2014.

544 BRASIL. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Ministério de Minas e Energia.
545 Geodiversidade do Estado do Maranhão. Teresina, Piauí. 2013.

546 CAJAZEIRAS, C. C. A. Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação
547 com doenças de veiculação hídrica, Região de Crajubar/CE. 2007. 143 f.
548 Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal Do Ceará,
549 Fortaleza.

550 CAMARGO, M. F.; PAULOSSO, L. V. Avaliação qualitativa da contaminação
551 microbiológica das águas de poços no município de Carlinda – MT. Semina:
552 Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina, v. 30, n. 1, p. 77-82, jan./jun. 2009.

553 COLVARA, J.G.; LIMA, A.S.; SILVA, W.P. Avaliação da contaminação de água
554 subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. Brazilian Journal
555 of Food Technology, Campinas, v.2,p.11-14, 2009.

556 COSTA, C.L; LIMA, R F; PAIXÃO, G C; PANTOJA, L D M. Avaliação da
557 qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil.
558 Semina: Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina, v. 33, n. 2, p. 171-180,
559 jul./dez. 2012

560 DANELUZ, D; TESSARO, D. Padrão físico-químico e microbiológico da água
561 denascentes e poços rasos de propriedades rurais da região sudoeste do
562 Paraná. Arq. Inst. Biol., São Paulo, v.82 p. 1-5, 2015

563 DAWSON, D.J.; SARTORY, D.P. Microbiological safety of water. British
564 Medical Bulletin, v.56, p.74-83, 2000.

565 EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite.
566 Relatório do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico do Estado
567 do Maranhão. 324p. / Relatório Técnico, v.2. Campinas, SP. 2013.

568 ESRI - Environmental Systems Research Institute. Model Builder for ArcView
569 Spatial Analyst 2 - An ESRI White Paper. Redlands, May, 2013.

570 FARIAS NANES, P L M; NANES, D P; FARIAS, S E M. Qualidade das águas
571 subterrâneas de poços tipo cacimba: um estudo de caso da comunidade
572 Nascimento – município de São Sebastião – AL. III Congresso Brasileiro de
573 Gestão Ambiental Goiânia/GO – 19 a 22/11/2012

574 FOCAZIO, M.J., REILLY, T.E., RUPERT, M.G y HELSEL, D.R. (2002).
575 Assessing ground-water vulnerability to contamination: Providing scientifically
576 defensible information for decision makers. U.S Geological Survey Circular,
577 1224. <http://water.usgs.gov/pubs/circ/2002/circ1224/>

578 FOSTER, S. “Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and
579 protection strategy.” Proceedings of International Conference: Vulnerability of
580 Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk, 1987. Países Baixos.

581 FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. C. A. Groundwater pollution risk assessment:
582 a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical
583 Manual. Lima, Peru. 81p. (1988).

584 FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D’ELIA, M. y PARIS, M. (2006).
585 Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de
586 abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Washington:
587 Banco Mundial. 104 p.

588 FUNDAÇÃO SOUSÂNDRADE-FSADU. (2013). Estudo de Impacto Ambiental
589 (EIA) Terminal Aquaviário do Itaqui e Faixa de Dutos para Interligação entre
590 Terminal e Refinaria PREMIUM I. Diagnóstico Ambiental - Meio Físico. Volume
591 II. São Luís.

592 LÖBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Vulnerabilidade à contaminação
593 das águas subterrâneas do município de Nova Palma, Rio Grande do Sul,
594 Brasil. Revista Ambiente e Água. vol. 10 n. 1 Taubaté – Jan. / Mar. 2015.

595 MARCUZZO, F. F. N., ANDRADE, L. R. DE., MELO, D. C. R., 2011 Métodos de
596 Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato
597 Grosso. Revista Brasileira de Geografia Física 04, 793-804.

598 MEDEIROS, C. M; Ribeiro, M A F M; Rufino, I A; Barbosa, D L. Mapeamento
599 da vulnerabilidade de parte da Bacia Sedimentar do Baixo Curso do rio Paraíba
600 utilizando o método GOD. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento

601 Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE
602 p.3819

603 SIAGAS / CPRM / MME - Ministério de Minas e Energia / Serviço Geológico Do
604 Brasil. Sistema de Informação de Águas Subterrâneas - SIAGAS. 2014.
605 http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php. Acessado em
606 fevereiro de 2014.

607 OLIVEIRA, J. MB.; CASTRO, A. C. L; PEREIRA, E. D.; AZEVEDO, J. W. J.
608 Qualidade da água subterrânea em comunidades rurais de São Luís – MA.
609 Espacios. Vol. 37 (Nº 31) Año 2016. Pág. 11

610 OLIVEIRA, H S J.; SILVA, P C M; SILVA C. L. C. Monitoramento e mapeamento
611 das águas subterrâneas de abastecimento urbano do município de Mossoró-
612 RN. Revista Brasileira de Geografia Física v.09, n.06 (2016) 1825-1835.

613 PEREIRA, L.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.
614 LIMA, J. O. G.; MENDES FILHO, J. Medidas hidroquímicas e Isotópicas em
615 Águas Subterrâneas que Abastecem o Município de São Luís – Maranhão.
616 Rev. Águas Subterrâneas nº 18, Janeiro 2004. Disponível em
617 <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/medidas-hidro.pdf>, acesso em
618 05/07/2016.

619 QUEIROZ, M. F. et al. A qualidade da água de consumo humano e as doenças
620 diarreicas agudas no Município do Cabo de Santo Agostinho, PE. Brazilian
621 Journal of Epidemiology. São Paulo, p. 456, 2002. (Suplemento Especial).

622 RODRIGUES, T. L. N. et al. (Org) Programa de Levantamentos Geológicos
623 Básicos do Brasil: São Luís, Folha SA-23-2-A, Cururupu Folha SA-23-X-C,
624 escala 1: 250.000, Brasília: CPRM, 1994, 185 p.

625 SENDRA, J. B. Sistemas de Información Geográfica. Ediciones Rialp, S.A.
626 Madrid. 1997.

627 SILVA, R.C.A.; ARAÚJO, T.M. Qualidade da água do manancial subterrâneo
628 em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). Ciência & Saúde Coletiva, v.8, n.4,
629 p.1019-1028, 2003.

5. CONCLUSÃO

A modelagem espacial da vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea, aplicada aos mananciais subterrâneos do município de Bacabeira, mostrou-se uma ferramenta capaz de subsidiar ações técnicas, científicas e de decisão, principalmente por demonstrar ganho no conhecimento das influências dos aspectos ambientais (geológico, geomorfológicos, pedológico e climáticos) e dos aspectos construtivos (profundidade) e tipologias dos poços. Estas influências resultam em características diferenciadas em que cada unidade hidrogeológica e cada manancial/poço destinado ao abastecimento humano responda de forma diferente, em maior ou menor suscetibilidade, a carga poluente/contaminante a ela imposta.

O modelo GODD aplicado para caracterização da vulnerabilidade da água subterrânea à contaminação, utilizando parâmetro de Confinamento (*G*), Ocorrência (*O*), Distância (*D*) e Declividade (*D*), se apresenta como além de uma proposta metodológica robusta, uma ferramenta de auxílio da compreensão de que o ambiente e sua transformação são fatores determinantes de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, e consequentemente à saúde humana através de seu consumo.

O interpolador IDW, através dos parâmetros trabalhados e da própria distribuição espacial dos poços, projetou a classificação da vulnerabilidade em outras áreas dos aquíferos do município não mensurados diretamente, e que por tanto possibilita ações estratégicas dentro da perspectiva da qualidade ambiental e da própria saúde da população consumidora deste manancial.

Em Bacabeira encontram-se 10 poços ativos com a destinação para abastecimento humano (uso doméstico primário e secundário). Estes poços encontram-se locados sobre as unidades hidrogeológicas do Itapecuru (50%), Tromaí (30%) e Depósitos flúvio-marinhos (20%).

Os poços que apresentaram índice de média vulnerabilidade à contaminação foram: Videl, Ramal do Aboud 1, 2 e 3, Rancho Papouco, Placa de Recurso e Malhadinha. Já os poços classificados sob índices de alta vulnerabilidade foram: Rua do Sol-Periz de Baixo, Assentamento e Centro.

Foi possível identificar através da sobreposição em SIG, destes índices de vulnerabilidade e setores censitários – IBGE que, 30% dos poços sob alta vulnerabilidade abastecem diretamente 350 municípios e os outros 70% (média vulnerabilidade) abastecem diretamente 450 municípios. Os setores censitários que possuem as maiores concentrações populacionais e mais carente, sob este aspecto da vulnerabilidade intrínseca à contaminação das águas subterrâneas são: Periz de Baixo, Centro/Sede e Ramal do Aboud/Rancho Papouco.

Quanto aos resultados analíticos dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos das águas dos poços; o pH apresentou uma variação de 6,1 a 7,89 mg L⁻¹, demonstrando uma tendência de neutralidade em suas águas e com a maioria ficando dentro do VMP 6 e 9,5 conforme Portaria MS nº 518/04; o nitrato apresentou valores, em sua maioria (60%), abaixo do VMP 1.000NO₃⁻ mg/L (Resolução CONAMA 396/08). Já, os poços das localidades Rancho Papouco, Placa de Recurso, Malhadinha e Ramal do Aboud 2 apresentaram concentrações acima do VMP de 15.028, 7.996, 1.628 e 1.191 NO₃⁻mg/L; quanto aos resultados de cloretos, as amostras apresentaram valores abaixo do VMP da Resolução supracitada em 90%, sendo somente no poço da localidade de Assentamento com valor superior (345mg L⁻¹).

Quanto às análise bacteriológicas das amostras de água dos poços, 40% apresentaram ausência de coliformes termotolerantes (*E.coli*) atendendo aos padrões de qualidade, enquanto que em 60% do total de amostras analisadas não seguem o padrão ditado pela Portaria MS nº 518/2004. Ainda sim, os resultados obtidos nas contagens de coliformes totais e termotolerantes, comparados com o padrão exigido, embasam a afirmativa de que as amostras avaliadas apresentaram baixa qualidade higiênico-sanitária.

Desse modo, no cenário da qualidade das águas subterrâneas, a utilização de fonte de água deste manancial para consumo humano se apresenta como um fator de vulnerabilidade à saúde da população expondo-a a doenças de veiculação hídrica e em risco à saúde pública, uma vez que elevado percentual das amostras encontra-se em desacordo com a legislação vigente, não apresentando condições de potabilidade, sendo, portanto, capaz de transmitir enfermidades de veiculação hídrica.

Os resultados obtidos neste estudo são de fundamental importância para o município de Bacaberia, tendo em vista que se trata de uma região atrativa de grandes investimentos/atividades industriais, que caso sejam implantados, irão gerar diversas ameaças ao ambiente e seus recursos naturais e à sociedade local, uma vez que existem comunidades que utilizam o manancial subterrâneo para diversos usos além do consumo direto.

As informações de cunho geológico, hidrogeológico, pedológico, geomorfológico, climático, qualidade de água e aspectos construtivos dos poços são preponderantes para sustentar o processo de planejamento ambiental e subsidiar a gestão quanto a estratégias de monitoramento e controle da qualidade da água subterrânea servida à população e para o fortalecimento de ações voltadas para a geração de políticas públicas ambientais que privilegiem as comunidades locais promovendo aspectos da saúde.

6. REFERENCIAS

AGUIAR, L. A.; ARAUJO, G. H.; ALMEIDA, J. R.; SOARES, P. S.; POSSA, M. V.; Análise e Avaliação de Risco Ambiental como Instrumento de Gestão em Instalações de Mineração. In: Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, p. 213-235, 2008.

ALBINET M, MARGAT J. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine Orleans, France. Bull BRGM 2ème série, 4: 13–22.1970.

ALCÂNTARA, E.H. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, Maranhão – Brasil. Caminhos de Geografia 7(11)97-113, Fev/2004.

ALMEIDA, G. M.; SILVA JR, G. C. Fatores Hidrogeológicos no Estudo da Intrusão Salina em Aquíferos Costeiros da Região Litorânea do Município de Maricá – RJ. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 30 -2 / 2007 p. 104-117.

ALMEIDA, R.A.S.; OLIVEIRA, I.B. Aplicação do índice de qualidade de água subterrânea (IQUAS) destinado ao uso para consumo humano. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. novembro de 2008. Natal – RN.

AMARAL LA, NADER FILHO A, ROSSI JUNIOR OD, FERREIRA LAF, BARROS LSS. Água de consumo humano com fator de risco à saúde em propriedades rurais. Revista de Saúde Pública 2003; 37:510-4.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado. Engecorps/Cobrape. Brasília, 2010. Volume 2.

ANA - Agência Nacional de Águas. Disponibilidade e Demanda de Recursos Hídricos no Brasil. Caderno de Recursos Hídricos. 2007. Agência Nacional de Águas. Disponível em <<http://www.ana.gov.br/sprtew/2/2-ANA.swf>>. Acesso em jan. 2014.

APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20^a ed. Washington: APHA, 1998.

ARAÚJO, P. P.; CHAVES, C. L.; SILVA, H. R. da. Vulnerabilidade das águas subterrâneas no estado do Maranhão, em SIG, escala 1:2.000.000. In: 46º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Santos, SP. Anais. Santos, SP: SBG, 2012.

AUGE, M. Vulnerabilidad de acuíferos: conceptos y metodos. 2004. Buenos Aires: Universidade de Buenos Aires. Disponível em: <<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html>>. Consultado em: 16/02/2016.

BAIRD, C.; Química ambiental. 2^a ed., Bookman: Porto Alegre, 2002.

BARBOSA, M.C.; CARVALHO, A.M.; IKEMATSU, P.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; CAVANI, A.C.M. Avaliação do perigo de contaminação do sistema

aquífero guarani em sua área de afloramento do estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Águas Subterrâneas, v.25, n.1, p.1-14, 2011.

BARCELLOS C, COUTINHO K, PINA MF, MAGALHÃES MM, PAOLA JC, SANTOS SM. Inter-relacionamento de dados ambientais e de saúde: análise de risco à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando Sistemas de Informações Geográficas. Caderno de Saúde Pública 1998; 14: 597-605.

BARROS, A.J.S.; LEHFELD, N.A.S. Fundamentos de metodologia científica: um guia para a iniciação científica. 2ª ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BERRY, J. K. Cartographic modeling: the analytical capabilities of GIS. In: Goodchild, M; Parks, B. O.; Steyaert, L. T. Environmental modelling with GIS, New York, Oxford University Press, 488p, 1993.

BERRY, J. K.; BERRY, J. K. Assessing Spatial Impacts of Land Use Plans. Journal of Environmental Management, v. 27, p. 1-9, 1988.

BION; PMSB-BAC. Diagnóstico da situação do saneamento básico de Bacabeira-MA. 2015

BOCANEGRA, E.; SILVA JR., G.C.; CUSTODIO, E.; MANZANO, M.; MONTENEGRO, S. & REYNOLDS-VARGAS, J. Characterization of Iberoamerican coastal aquifers: state of knowledge and management. In: Congress of international association of hydrogeology, 35, Lisbon, 2006. Proceedings of the XXXV IAH Congress. v.1, p. 1-10. 2007.

BRAIL, R.K., KLOSTERMAN, R.E. Planning Support Systems, ESRI Press, Redlands, CA. 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano. Brasília, DF, 2006 a. 284p. Série A. Normas e Manuais Técnicos.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília, DF, 2006 b. 212 p. Série B. Textos Básicos de Saúde.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 396/2008. Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 32, DE 15/10/2003. ANEXO I - Divisão Hidrográfica Nacional.

BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cadastro Nacional para Fins Estatísticos - CNEFE/IBGE.Censo Demográfico 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=ma&tema=cnefe_censodemog2010. Consultado em 18/08/2014.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeção da População das Unidades da Federação por sexo e idade: 2000-2030. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2013/default_tab.shtm. Consultado em 27/01/2017.

BURROUGH, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford, Claredon Press, 3ª ed. 1991.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL R. A. Principles of Geographic Information Systems. Oxford, Oxford University Press. 1998.

CAJAZEIRAS, C.C.A.; Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, região de Crajubar/CE. 2007. “Dissertação” Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará.

CAPUCCI, EGMONT et. al. Poços Tubulares e outras Captações de Águas Subterrâneas: Orientação aos Usuários. Serla, Rio de Janeiro, 2001. SEMADS 2001. 70p. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ

CCE - Comissão das Comunidades Européias. Norma 98/83/CE. 2003. Disponível em <<http://eurlex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: fev. 2014.

CERVO, A.L.; BERVIAN, P.A.; DA SILVA, R. Metodologia científica. 6. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2007.

CLEARY, W. R. Águas subterrâneas. 1989. Disponível em: <<http://www.clean.com.br/cleary.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2016.

COSTA, J. L. Programa Grande Carajás: Castanhal, Folha SA.23-V-C- Estado do Pará.Belém: CPRM, 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. CD-ROM.

CPRM. Companhia de pesquisa de Recursos Minerais, Hidrogeologia: Conceitos e aplicações/Coordenadores: Feitosa F. A. C. & Filho, J. M. Fortaleza: CPRM, LABHID- UFPE,1997.

CPRM. Ministério de Minas e Energia. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea Estado do Maranhão. Relatório diagnóstico do Município de Bacabeira. Teresina/Piauí. 2011.

CPRM. Ministério de Minas e Energia. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informação Geográfica-SIG: Escala 1:750.000. Belém. 2012.

CPRM. Ministério de Minas e Energia. Geodiversidade do Estado do Maranhão. Teresina, Piauí. 2013.

DELVIN T. M. et al. Manual de Bioquímica com correlações clínicas. Editora Edgard Blucher Ltda. 1998.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA.
<http://global.britannica.com/science/greenhouse-gas>. Consultado em 01/02/2016.

EMBRAPA. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão. Rio de Janeiro, 1986.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite. Relatório do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão. 324p. / Relatório Técnico, v.2. Campinas, SP. 2013.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. ModelBuilder for ArcView Spatial Analyst 2 - An ESRI White Paper. Redlands, May, 2000.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2011. 391 p il.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ÉLIA, M.; PARIS, M. 2002. Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies. The World Bank. Washington, DC.

FOSTER, S. "Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy." Proceedings of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk, 1987. Países Baixos.

FOSTER, S. S. D.; R. HIRATA. 1988. "Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data." WHO/PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru.

FOSTER, S.; HIRATA, R. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. Boletim N.º 10.

FUNDAÇÃO SOUSANDRADE DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UFMA – FSADU. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) Terminal Aquaviário do Itaqui e Faixa de Dutos para Interligação entre Terminal e Refinaria PREMIUM I. Diagnóstico Ambiental - Meio Físico – Volume II São Luís. Agosto / 2013.

GEORGE, F.H. The use of models in Science. In: CHORLEY, R.J.; HAGGET, P. Models in Geography. London. Mathuen e Co Ltd., 1971.

GLEICK, P.H.; Dirty Water: Estimated Deaths from Water-Related Disease 2000-2020. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security. 2002.

GONÇALVES, L.R.; KOPPE, J.C. & COSTA, J.F.C.L. Vulnerabilidade natural e avaliação de risco de contaminação dos sistemas de aquíferos nas áreas degradadas pela extração de carvão no município de Siderópolis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.

GOGU, R.C.; DASSARGUES, A. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods *Environmental Geology* 39 (6) April 2000.

HAGER, F.P.V.; D'ALMEIDA, M.L. Legislação Aplicada Às Águas Subterrâneas. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 11 a 14 de novembro de 2008 - LOCAL: Natal – RN.

HAGER, F.P.V. Águas Subterrâneas no Direito Público. “Monografia” Especialização em Direito Público. Faculdade Metropolitana de Belo Horizonte. 90 pag. 2007.

HAGGET, P. *Geography: a modern synthesis*. 2 ed. New York, Harper & Row, 1972.

HEATH, R. C. Hidrologia Básica de Água Subterrânea. USGS Water Supply Paper 2220. Traduzido para o Português Mario Wrege e Paul Potter. UFRGS/IPH, 1983.

HELLER L, COLOSIMO AE, ANTUNES CMF. Environmental sanitation conditions and health: impact: a case-control study. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. 2003; 36:41-50.

HILDEBRANDT, A.; GUILHAMÓN, M.; LACORTE, S.; TAULER, R.; BARCELÓ, D. Impact of pesticides used in agriculture and vineyards to surface and groundwater quality (North Spain). *Water Research*, n. 42, p.3315-26, 2008.

HOCHMAN G. A era do saneamento. São Paulo: Editora Hucitec/Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ciências Sociais; 1998.

HOWARD, G.; BARTRAM, J.; PEDLEY, S.; SCHMOLL, O.; CHORUS, I.; BERGER, P. Groundwater and public health. SECTION I: SCIENTIFIC BACKGROUND. In: *Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources*. World Health Organization (WHO) 2006. Printed by TJ International (Ltd), Padstow, Cornwall, UK.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 15 mar. 2013j.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Cidades/MA/Bacabeira. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/painel/economia.php?lang=&codmun=210125&se-arch=maranhao|bacabeira|infograficos:-despesas-e-receitas-orcamentarias-e-pib>. Acesso em: fevereiro de 2014.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS - IMESC. Anuário Estatístico do Maranhão. São Luís. 2010. 791 p. v. 4.

LIGGETT, J.; TALWAR, S. Groundwater Vulnerability Assessments and Integrated Water Resource Management. Streamline Watershed Management Bulletin Vol. 13/No. 1 Fall 2009

LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F., MACGUIRE, D.J., RHIND, D.W. Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management. John Wiley & Sons, New York. 1999.

MAHAN, B. M. Química: um curso universitário. 4. Ed, São Paulo: Ed. Blücher, 2000

MALCZEWSKI, J. Gis and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 1999.

MARANHÃO. Secretária de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais-SEMA. Decreto nº 28.008 de 30/01/2012. DOE em 30/01/2012. Regulamenta a Lei nº 8.149, de 15 de junho de 2004 e a Lei nº 5.405, de 08 de abril de 1992. Águas subterrâneas e dá outras providências.

MARANHÃO. Universidade Estadual do Maranhão. Atlas do Maranhão. 2ª. Ed. São Luís: GEPLAN, LABGEO/UEMA, 2002, 44 p.

MINAYO, M.C.S. O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde. 2ª Ed. São Paulo: Editora Hucitec/Rio de Janeiro: ABRASCO; 1993.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE– MMA. Ciclo Hidrológico. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>. Acesso em: 7 jan. 2016.

MME / CPRM / SIAGAS – Ministério de Minas e Energia / Serviço Geológico Do Brasil. Sistema de Informação de Águas Subterrâneas - SIAGAS. 2014. http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php. Acessado em fevereiro de 2014.

MONKEN, M. & BARCELLOS, C.; Vigilância em saúde e território utilizado: possibilidades teóricas e metodológicas. Caderno de Saúde Pública. Rio de Janeiro, 21(3):898-906, mai-jun, 2005.

MORGENSTERN H. Ecologic studies. In: Rothman KJ, Greenland S. Modern Epidemiology. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1998. p.459-480.

MOZA PG, PIERI OS, BARBOSA CS, REY L. Fatores sócio-demográficos e comportamentais relacionados à esquistossomose em uma agrovila da zona canavieira de Pernambuco. Caderno de Saúde Pública. 1998; 14:107-15.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS - “Water and Sanitation” - Fact sheet number. 112p (acessado em 2014 - site: <http://www.who.int/inffs/en/fact112.html>. 2001.

PÁDUA, V. L. (Coord.) Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano.

Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária-ABES, 2009. 392p. Projeto PROSAB.

PEDROSA, C. A.; CAETANO, F.A. Águas Subterrâneas. Brasília: ANA, 2002. 85p.

PORTAL SAÚDE – Ministério da Saúde. Sítio eletrônico www.portalsaude.sivepdda

PRÜSS-ÜSTÜN, A., KAY, D., FEWTELL, L. AND BARTRAM, J. Unsafe water, sanitation and hygiene. In: Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors. (eds. EZZATI, M., LOPEZ, A. D., RODGERS, A. AND MURRAY, C. J. L), Volume 2, World Health Organization, Geneva. pp. 1321-1352. 2004.

QUADROS, T.F.P. Integração de dados em ambiente SIG para mapeamento de favorabilidade mineral de ouro na Ilha Cristalina de Rivera (Uruguai). “Tese” Doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 285 p., 2000.

REBOUÇAS, A. C. Proteção ou remediação do solo e água subterrânea. CIPA,

REBOUÇAS, A. DA C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil capitais ecológicos usos e conservação. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2002.

RIBEIRA, F. Calidad, contaminación y protección de acuíferos in III Curso Hispanoamericano de Hidrología Subterránea. 4 de octubre al 3 de diciembre de 2004, Montevideo-UY.

RICHTER, C.A; NETO J. M. A. Tratamento de Água, tecnologia atualizada. Ed. Edgard Blucher.1991.

ROCHA, C.M.B.M. Caracterização da percepção dos produtores de leite do Município de Divinópolis/MG sobre a importância do carrapato *Boophilus microplus* e fatores determinantes das formas de combate utilizadas. “Dissertação”. Belo Horizonte: Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais; 1995.

SANTOS, P.V.C.J. Influência hidrológica na distribuição da biota aquática no trecho inferior do rio Itapecuru-MA. Qualificação de tese do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte / Universidade Federal do Maranhão. São Luís – MA. 2015.

SENDRA, J.B. Sistemas de Información Geográfica. Ediciones Rialp, S.A. Madrid.1997.

SHIKWMANOV, I. A. World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century. Paris: UNESCO, 1998. 76p.

SILVA, A.M. Tratamento de água. Lavras: Editora UFLA; 1977.

SILVA JR., G.C.; LOWSBY, M.; SOUZA, M. G. A problemática da intrusão marinha nos aquíferos costeiros do leste Fluminense: um estudo de caso – a Região Oceânica de Niterói. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Fortaleza - CE. Anais, v. 1, p.15-25. 2000.

SILVA, F.V. Avaliação da contaminação das águas subterrâneas por atividade cemiterial na cidade de Maceió-AL. 2012. 150 f. “Dissertação” Engenharia: Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia.

SOARES, S.R.; BERNARDES, R.S.; NETTO, O.M Groundwater Quality Protection a guide for water utilities, Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. Caderno de Saúde Pública 2002; 18:1713-24.

SOARES-FILHO, B.S. Modelagem de dados espaciais. curso de especialização em geoprocessamento. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto. 2000.

STRUCKMEIER,W.F.; MARGAT, J. Hydrogeological Maps: A Guide anda Standard Legend. Volume 17 / 1995. International Contributions to Hydrogeology. - Hannover : Heise, 1995.

SZKLO M, JAVIER NIETO F. Basic study designs in analytical epidemiology. In: Szklo M, Javier Nieto F. Epidemiology: beyond the basics. Gaithersburg: Aspen Publishers Inc; 2000. p.3-51.

TRIVIÑOS A.N.S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Editora Atlas; 1987.

TUCCI, C. E. M. (Org). Hidrologia: Ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRS/ABRH, 2007.

TUCCI, C. E. M.; CABRAL, J. J. S. P. Qualidade da água subterrânea. 2003. Disponível em:< http://www.cgee.org.br/arquivos/a3b_agua_sub.pdf >. Acesso em: 18 fev.2016.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, IIE, 2003. 248p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Guidelines for Ecological Risk Assessment. Washington, DC. 1998.

VAN DUIJVENBOODEN, W.; VAN WAEGENINGH, H.G. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants" proceedings of the International Conference on March 30-April 3, 1987 at Noordwijk an Zee / (ed. by W. van Duijvenbooden and H. G. van Waegeningh) - The Hague: TNO Committee on Hydrological Research. Proceedings and Information / TNO Committee on Hydrological Research; no. 38.

VEIGA JR. J.P. (Org) Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: São Luís, Folha SA-23-X e SA-23-Z, escala 1: 500.000, Brasília: CPRM, 2000, 69 p.

WALDMAN EA, BARATA RC, MORAES JC, GUIBU IA, TIMENETSKY MC. Gastroenterites e infecções respiratórias agudas em crianças menores de 5 anos, em área da região Sudeste do Brasil, 1986-1987. II – diarreias. Revista de Saúde Pública 1997; 31:62-70.

WENDLAND, E. Modelos Matemáticos e Métodos Numéricos em Águas Subterrâneas. São Carlos, SP: SBMAC, 2003 XII, 95 p. - (Notas em Matemática Aplicada; 3).

WORLD HEALTH ORGANIZATION and UNICEF (2004). Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target: A mid-term assessment of progress. World Health Organization, Geneva, and UNICEF, New York.

WORLD HEALTH ORGANIZATION and UNICEF. Global Water Supply and Sanitation Assessment. 2000 Report. WHO, Geneva and UNICEF, New York.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for Drinking-Water Quality, Volume 1: Recommendations. 1993. 2nd ed. Capítulo 2: Microbiological aspects.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. World Health. Report 2004. WHO, Geneva.

7. ANEXOS

7.1. Página ilustrativa do Periódico: Ciência e Saúde Coletiva (Extrato Qualis 2014 – Interdisciplinar / B1)

Ciência & Saúde Coletiva

ISSN 1413-8123 versão impressa ISSN
1678-4561
Versão online

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

- [Instruções para colaboradores](#)
- [Orientações para a organização de questões temáticas](#)
- [Recomendações para a submissão de artigos](#)
- [Apresentação de manuscritos](#)

Instruções para colaboradores

Ciência & Saúde Coletiva publica debates, análises e resultados de pesquisas sobre temas específicos considerados de relevância para a saúde pública, bem como artigos para discussão e análise do estado dos temas de arte na área e subáreas, mesmo se eles não são directamente Relacionados com o tema central sob escrutínio. A revista é publicada mensalmente e se propõe a enfrentar os desafios, buscando consolidar e promover uma atualização permanente das tendências de pensamento e práticas em saúde pública, em diálogo com a agenda contemporânea de Ciência e Tecnologia.

Orientações para a organização de questões temáticas

Dentro da diversidade de revistas na área, a marca de *Ciência & Saúde Coletiva Journal* é o seu foco temático em linha com a vocação da ABRASCO de realizar um estudo em profundidade, bem como promover e divulgar debate e pares discussões acadêmicas sobre questões consideradas importantes e relevantes. E destacar o desenvolvimento histórico da saúde pública no Brasil.

As edições temáticas são programadas em torno de quatro modos de submissão:

- Por Mandato de Referência enviado por professores / pesquisadores na área de saúde pública (espontaneamente ou sugerido pelos Editores-Chefe), quando considerem pertinente examinar um tema específico com maior profundidade.
- Por Termo de Referência enviado pelos coordenadores de pesquisa inédita e abrangente relevante para a área, sobre os resultados apresentados sob a forma de artigos dentro das diretrizes descritas acima. Nestas duas primeiras abordagens, os Termos de Referência são avaliados em seu mérito científico e relevância pelos Editores Associados da Revista.
- Por chamada pública para os papéis anunciados em uma página na revista, e coordenado por editores convidados. Neste caso, os Editores convidados acumulam a tarefa de selecionar os artigos de acordo com seu escopo para serem julgados por mérito pelos árbitros.
- Por Organização Interna de Editores-Chefe Internos, reunindo artigos não solicitados sob um título relevante dentro dos critérios já descritos.

O Termo de Referência deverá conter: (1) título (mesmo provisório) da edição temática proposta; (2) o nome (ou nomes) do (s) Editor (es) Convidado (s); (3) justificativa resumida em um ou dois parágrafos sobre a proposta do ponto de vista dos objectivos, contexto, significado e relevância para a saúde pública; (4) uma lista dos dez artigos propostos já com os nomes dos autores convidados; (5) a proposta com o texto consistindo em um parecer ou entrevista com alguém que tem autoridade na discussão do assunto; E (6) proposta de uma ou duas sinopses de livros que abordam o tema.

7.2. Página ilustrativa do Periódico: Ambiente e Sociedade (Extrato Qualis 2014 – Interdisciplinar / B1)



ISSN 1414-753X versão impressa

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

- [Orientações gerais](#)
- [Foco e escopo](#)
- [Apresentação original](#)

Orientações gerais

PROCESSO DE AVALIAÇÃO DO PAPEL AMBIENTE & SOCIEDADE

O processo de avaliação de papel é o seguinte:

(1) triagem inicial : editores assistentes tela do papel para o cumprimento das regras de publicação listados online. Dentro desta fase não há rejeição de papel, os editores só sugerem modificações aos autores de acordo com os critérios editoriais *. Quanto mais cedo o autor adequar seu trabalho às mudanças solicitadas, mais rápido será o processo de avaliação.

(2) Pré-análise : O papel vai passar pelo crivo do editor-chefe e editores assistentes. Nesta etapa, são analisadas algumas exigências, tais como relação com o escopo da revista, originalidade, consistência do método e discussão interdisciplinar. Há rejeição de papel dentro dessa fase. A avaliação prossegue sem a identificação do autor.

(3) Designação : Caso os documentos serem aprovados na fase de pré-análise, eles serão designados para os editores associados. Estes são responsáveis pelo acompanhamento da avaliação e indicam os árbitros pares que procederão à revisão do documento.

(4) Avaliação : Nesta etapa final, o papel é avaliada por um par de arbitragem, utilizando a metodologia de dupla ocultação. Em alguns casos, ele é submetido à avaliação de outros árbitros se a decisão estiver vinculada. É bastante comum para os avaliadores sugerirem uma série de ajustes, e novamente, quanto mais cedo o autor entrega os ajustes, mais rápido o processo de análise.

Caso o trabalho seja aprovado no estágio 4, ele será aceito para publicação em um número ainda não determinado.

** Verifique as regras de submissão do diário (link abaixo) antes de enviar seu artigo:*

Outras informações sobre regras de submissão:

<http://submission.scielo.br/index.php/asoc/about/submissions#onlineSubmissions>

Os trabalhos devem ser apresentados na plataforma on-line:

<https://mc04.manuscriptcentral.com/asoc-scielo>

Foco e escopo

Ambiente & Sociedade é uma publicação trimestral da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade - ANPPAS, que contribui com a área de conhecimento que articula a interface entre Meio Ambiente e Sociedade, dentro de uma abordagem interdisciplinar. Publica trabalhos científicos de contribuintes nacionais e internacionais, que estão sujeitos a avaliações por revisores ad hoc.

A revista publica artigos teóricos e revistas de livros não editados na área interdisciplinar de interação entre Meio Ambiente e,

7.3. Página ilustrativa do Periódico: Ambiente Água (Extrato Qualis 2014 – Interdisciplinar / B1)

19/09/2016

Rev. Ambient. Água - Instruções aos autores



ISSN 1980-993X versão on-line

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

- [Escopo e política](#)
- [AMBIAGUA Processo de Revisão de Pares](#)
- [Forma e preparação de manuscritos](#)
- [envio de manuscritos](#)

Escopo e política

AMBIAGUA é publicada em Inglês, Português e Espanhol, e aceita submissões de manuscritos inéditos nas áreas temáticas científicas interdisciplinares relacionados a Ciências Ambientais, Recursos Hídricos, Hidrologia, Hidrogeologia, Meio Ambiente e Engenharia Sanitária, Engenharia Florestal e Recursos Florestais, Ecologia, Aquicultura, Oceanologia e Recursos Pesqueiros, Agronomia, Agrometeorologia e Engenharia Agrícola, Mudanças Globais, Engenharia de Pesca e Zootecnia, geografia, geologia, sensoriamento remoto, Geoinformação e Análise espacial relacionadas com a água ou Ciências ambientais.

artigos de revisão só serão publicados se incluem a análise crítica substancial de tópicos relevantes recentes.

Os trabalhos devem ser originais e apresentado exclusivamente ao AMBIAGUA. (Revista Ambiente & Água - Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada).

Além da taxa de inscrição, se o artigo for aceito para publicação uma taxa de US \$ 200 será cobrada para os artigos com máximo de 10 páginas e US \$ 25 por página, além de 10 páginas, contados após a versão final do artigo em revista layout final para publicação que só será cobrado se o artigo for aceito para publicação.

O Jornal adota o sistema de iThenticate para identificação plágio.

Aviso de direitos autorais

Autores mantêm os direitos autorais pelo seu trabalho. No entanto, eles conceder direitos de primeira publicação para Ambiente e Água - Uma Interdisciplinar Journal of Applied Science. Em compensação, a revista pode transferir os direitos autorais, permitindo uso não-comercial do artigo, incluindo o direito de enviar o trabalho para outras bases de dados ou meios de publicação.

AMBIAGUA Processo de Revisão de Pares

Cada proposta será revisto pelo editor para verificar se ou não o seu conteúdo cai dentro do foco da revista e se ele foi preparado de acordo com as instruções em circulação. O editor poderá rejeitar o manuscrito, se lhe falta de aderência com as instruções, impróprio textual descrição, má conduta científica, ou se o manuscrito tem insuficientes mérito científico ou tecnológico. Quando esse processo for concluído, o editor pode enviar o artigo para um ou dois membros do Comitê Editorial, de modo que eles podem recomendar, pelo menos, dois revisores para a apresentação. Os revisores serão cientistas que trabalham em áreas estreitamente relacionadas com o tema do manuscrito e será, portanto, plenamente capacitados para avaliar o manuscrito e recomendar a aceitação ou rejeição. Em muitos casos, eles vão sugerir melhorias a fim de tornar o manuscrito aceitável para publicação. Os revisores receberão o manuscrito, juntamente com instruções relativas ao processo de revisão e um formulário de

7.4. Página ilustrativa do Periódico: Cadernos Saúde Coletiva (Extrato Qualis 2014 – Interdisciplinar / B2)

Cadernos
Saúde Coletiva
ISSN 1414-462X versão impressa

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

- [Âmbito e política](#)
- [Formato e preparação de manuscritos](#)
- [Enviando manuscritos](#)

Âmbito e política

Cadernos Saúde Coletiva (CSC) publicam estudos não editados considerados relevantes para o campo da Saúde Coletiva.

Conflito de interesses: Todos os autores do manuscrito deve declarar situações que podem influenciar o desenvolvimento ou as conclusões do trabalho de uma maneira imprópria. Estas situações podem ser financeiras, políticas, acadêmicas ou comerciais.

Questões éticas: Todos os artigos resultantes de pesquisas envolvendo seres humanos são condicionados ao cumprimento dos princípios éticos da Declaração de Helskinki (1964, reestruturado em 1975, 1983, 1989, 1996 e 2000), da Associação Médica Mundial.

O artigo deve conter o número do processo e o nome do Comitê de Ética a que foi submetido. Quando necessário, deve informar que os sujeitos da pesquisa assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. O Conselho Editorial da CSC poderá solicitar informações sobre os procedimentos éticos utilizados no estudo, se necessário.

Autoria: Todos os autores do manuscrito deve atender aos critérios de autoria do Comitê Internacional de Editores de Revistas Médicas: (1) I têm contribuído substancialmente com a concepção e planejamento, ou análise e interpretação dos dados; (2) contribuí significativamente com a elaboração do projecto ou com a revisão crítica do conteúdo; E (3) participei na aprovação da versão final do manuscrito.

A contribuição de cada autor deve ser detalhado no [documento de responsabilidade pela autoria](#).

Processo de julgamento: Os artigos submetidos que satisfaçam as instruções para colaboradores e estão em conformidade com a política editorial da revista será encaminhado para avaliação.

Pré-análise: A primeira análise é feita pelos Editores Associados com base na originalidade, pertinência, qualidade acadêmica e relevância do manuscrito para a saúde pública.

Avaliação pelos pares: os artigos selecionados na pré-análise são avaliados por especialistas sobre o tema abordado.

O anonimato é assegurado durante todo o processo de julgamento.

A revista adota softwares gratuitos para identificar o plágio.

Formato e preparação de manuscritos

Estudos em Português, Espanhol e Inglês serão aceitos. A página de rosto deve conter o título do trabalho, posição e conexão profissional de cada autor, bem como endereço, número de telefone e e-mail do autor principal.

O artigo deve conter o título em Português, título em Inglês, *resumo* e *abstract*, com *palavras-chave* e *palavras-chave*. As informações na

7.5. Página ilustrativa do Periódico: Água Subterrânea (Extrato Qualis 2014 – Interdisciplinar / B2)

01/02/2017

Submissões



Capa » Sobre a revista » Submissões

CAFA

SOMÉ

ACESSO

CADASTRO

PERIQUISA

ATUAL

ANTERIORES

RESUMOS DE TESIS

TUTORIAIS EM VIDEO

ABAS

AJUDA DO SISTEMA

Submissões

- Submissões Online
- Diretrizes para Autores
- Declaração de Direito Autoral
- Política de Privacidade

Submissões Online

Já possui um login/senha de acesso à revista Águas Subterrâneas?
[ACESSO](#)

Não tem login/senha?
[ACESSE A PÁGINA DE CADASTRO](#)

O cadastro no sistema e posterior acesso, por meio de login e senha, são obrigatórios para a submissão de trabalhos, bem como para acompanhar o processo editorial em curso.

Diretrizes para Autores

Cadastro

Entrar na página da revista: <http://aguassubterraneas.abas.org/>
Clicar em "CADASTRO" e preencher o formulário. Não esquecer de ativar as caixas de "LEITOR" e "AUTOR"

Submissão

- Entrar na página da revista: <http://aguassubterraneas.abas.org/> e clicar em "PÁGINA DO USUÁRIO"
- Clicar em "AUTOR"
- Na página "SUBMISSÕES ATIVAS", clicar em "Clique aqui para iniciar o processo de Submissão" (final da página) ou em "NOVA SUBMISSÃO" (coluna à direita).
- Na página seguinte: "PASSO 1. INICIAR SUBMISSÃO", ativar a caixa "DECLARAÇÃO DE DIREITO AUTENTAL" e escolher a seção apropriada para a submissão (• "ARTIGOS").
- Clicar em "SALVAR E CONTINUAR"
- Na página seguinte: "PASSO 2. METADADOS DA SUBMISSÃO (INDEXAÇÃO)", incluir os nomes dos autores e seus respectivos e-mails.
- Complete o resto do formulário com os dados do artigo: Título, resumo, abstract, indexação e agência de fomento.
- Clicar em "SALVAR E CONTINUAR"
- Na página seguinte: "PASSO 3. TRANSFERÊNCIA DO MANUSCRITO", leia os itens 1 a 5 e, principalmente, o texto vinculado ao link "Assegurando uma Avaliação Cega segura"
- Para transferir o arquivo, clicar em "PROCURAR". Na janela "PROCURAR ARQUIVO" selecionar o arquivo e clicar em "ABRIR". O nome do arquivo aparecerá ao lado do botão Browse. Clicar em "TRANSFERIR".
- Sob o título "DOCUMENTO DE SUBMISSÃO", aparecerão os dados do arquivo. Por exemplo:
Nome do documento: 9588-29437-1-SM.doc
Nome original do Documento: Drumond.doc
Tamanho do Documento: 19KB
Data de transferência: 2007/10/19 11:48 AM
- Conferir os dados e clicar em "SALVAR E CONTINUAR"
- Na página seguinte: "PASSO 4. TRANSFERÊNCIA DE DOCUMENTOS SUPLEMENTARES", repetir os passos do item "TRANSFERÊNCIA DE ARQUIVOS", caso tenha algum documento complementar a ser enviado.
- Clicar em "SALVAR E CONTINUAR"
- Na página seguinte: "PASSO 5. CONFIRMAÇÃO DA SUBMISSÃO". Conferir os dados informados em "RESUMO DE DOCUMENTOS" e clicar em "CONCLUIR SUBMISSÃO"

Visualização do Andamento da Submissão

- O autor poderá acompanhar o andamento da avaliação. Para isso, basta acessar o sistema, localizar o nome do artigo submetido e clicar no link de coluna "SITUAÇÃO", por exemplo: "Em fila para Avaliação"
- Os arquivos com os comentários dos revisores estarão disponíveis para leitura ou para baixar no computador, em "POR FAVES". Basta clicar no nome do "DOCUMENTO TRANSFERIDO", que surgirá a opção para abrir ou baixar o arquivo.

Orientações para Preparação do Artigo

O trabalho submetido para avaliação preliminar deverá ser submetido em programa Word for Windows ou compatível, fonte Arial, tamanho 12, espaçamento duplo, em papel A4, margens de 2,5 cm, sem numeração de páginas e tel, no máximo, 20 páginas, já incluindo figuras e tabelas.

O documento deverá ter o numeracao de linhas visível e continuo a partir do seu título, visando acelerar o processo de edição pelos pares.

IMPORTANTE: O(s) nome(s) do(s) autor(es), sua(s) instituição(ões) e endereço(s) para correspondência NÃO DEVEM constar do texto. A identificação do trabalho será feita pelo preenchimento dos metadados da submissão e pelo número de identificação gerado automaticamente. Referências a publicação(s) do(s) autor(es) dentro do texto ou na lista de referências devem aparecer somente como "AUTOR", de modo a garantir uma avaliação cega segura.

Serão aceitos trabalhos em Português, Espanhol e Inglês e serão publicados no idioma em que foi redigido originalmente. Os artigos deverão, obrigatoriamente, apresentar resumo em Português e Inglês. Além disso, caso o idioma escolhido não seja o Português, o título deverá obrigatoriamente ser apresentado secundariamente nesse idioma, sendo mantido o título original no idioma do artigo. O título do trabalho, com no máximo 140 toques, deverá aparecer na primeira página do trabalho, sem a identificação do(s) autor(es).

Antecedendo o texto serão apresentados dois resumos em Português e Inglês. Para trabalhos redigidos em Espanhol, o segundo resumo será em Português e o terceiro em Inglês. O resumo deverá ser redigido em parágrafo único, variando

IDIOMA

PATROCINADORES

ANUNCIE NO PORTAL ABAS

LEBAG

unesp

HIDROPLAN

USUÁRIO

Login

Senha

☐ Lembrar usuário

[Acessar](#)

NOTIFICAÇÕES

- Visualizar
- Anular

CONTÉUDO DA REVISTA

Pesquisa

Escopo da Busca

Todos

[Pesquisar](#)

Procurar

- Por Edição
- Por Autor
- Por Título

TAMANHO DE FONTE

INFORMAÇÕES

- Para Leitores
- Para Autores
- Para Bibliotecários

EDIÇÃO ATUAL

01/01/2017	10
01/01/2017	20
01/01/2017	30

<https://aguassubterraneas.abas.org/subterraneas/about/submissions#OnlineSubmissions>

1/